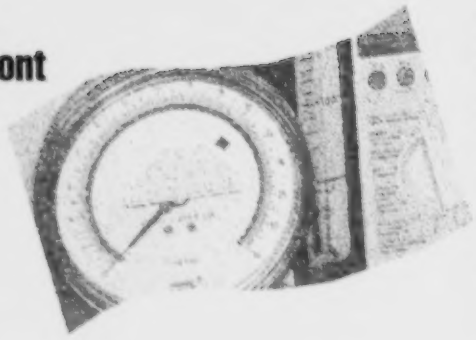
Mémento sur l'utilisation des rotamètres de marque Gilmont et Allegro pour l'évaluation des débits d'alimentation des pompes à air ambiant



ÉTUDES ET RECHERCHES

Louis Lazure
Yves Cloutier
Rodrigue Gravel

R-371

RAPPORT

irsst

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent* pour vous !

MISSION

- Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2004
ISBN : 2-551-22495-0
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, avril 2004

105-00099/

Mémento sur l'utilisation des rotamètres de marque Gilmont et Allegro pour l'évaluation des débits d'alimentation des pompes à air ambiant

ÉTUDES ET RECHERCHES

Louis Lazure, Yves Cloutier et Rodrigue Gravel
Hygiène du travail, IRSST

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

Sommaire

Le rotamètre est un instrument de mesure fréquemment employé pour déterminer le débit d'air fourni par les pompes à air ambiant qui servent à alimenter des systèmes de protection respiratoire à adduction d'air. À priori il s'agit d'un instrument relativement simple d'utilisation pouvant être inséré soit à l'extrémité d'un réseau d'alimentation d'air ou entre les composants du réseau. Si le rotamètre est inséré dans le réseau et qu'il est soumis à des conditions d'utilisation (pression et température de ligne) différentes des conditions de référence spécifiées par le manufacturier, le débit qu'il affichera devra être corrigé théoriquement, ce qui nécessite la mesure des paramètres de pression et de température. Une évaluation par tests comparatifs de deux rotamètres en utilisation dans le réseau de la santé et de la sécurité au travail a été réalisée afin d'établir la précision des mesures, de valider les équations de correction de débits à appliquer et de préciser le cadre méthodologique à mettre en œuvre lors des mesures sur le terrain. Les résultats mettent nettement en évidence la nécessité d'intégrer les paramètres de pression et de température pour obtenir le débit réel. De plus, on observe que la concordance entre les débits de référence et les débits équivalents varie en fonction de la pression et de la température et que, dans certains cas, elle ne couvre pas la totalité de l'échelle de chacun des rotamètres.

Par ailleurs, lors de la mesure du débit d'air qui alimente un équipement de protection respiratoire (masque, cagoule), il est de pratique courante de substituer cet équipement par un rotamètre. En procédant ainsi, la pression manométrique au refoulement de la pompe chute ce qui implique une augmentation soudaine du débit circulant dans le réseau et une surestimation du débit d'alimentation. Compte tenu de l'impact de la charge aéraulique sur le débit d'alimentation des pompes à air ambiant, les mesures de débits doivent être effectuées en insérant le rotamètre en amont du respirateur.

TABLE DES MATIÈRES

Page

Sommaire i
Introduction 3
Cadre théorique 3
Instrumentation et méthodologie 4
Calcul de l'incertitude 6
Établissement des limites d'utilisation des débitmètres massiques de référence par comparaison quantitative des débits 6
Vérification de la réponse des deux rotamètres identiques de marque Gilmont et Allegro .. 7
Comparaison quantitative des débits des rotamètres soumis à des conditions de pression et de température variables 7
Réponse de la pompe à air ambiant en fonction de la variation de la charge aéraulique 9
Résultats et discussion 9
Établissement des limites de fonctionnement des débitmètres massiques de référence 9
Vérification de la réponse des deux rotamètres identiques de marque Gilmont et Allegro .. 9
Comparaisons quantitatives des débits des rotamètres soumis à des conditions variées de pression et de température 9
Réponse de la pompe à air ambiant en fonction de la variation de la charge aéraulique 13
Conclusions et recommandations 16
Références 16

LISTE DES TABLEAUX

Page
Tableau 1 : Concordance entre les mesures des deux débitmètres de référence 25
Tableau 2 : Impact de l'augmentation de la température de l'air circulant dans le réseau sur la réponse du débitmètre massique 26
Tableau 3 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Gilmont 27
Tableau 4 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Allegro 28
Tableau 5 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Gilmont 29
Tableau 6 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Allegro 30
Tableau 7 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Gilmont 31
Tableau 8 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Allegro 32
Tableau 9 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont 33
Tableau 10 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro 34
Tableau 11 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 10 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont 35
Tableau 12 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 10 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro 36
Tableau 13 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 15 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont 37
Tableau 14 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 15 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro 38
Tableau 15 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 20 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont 39
Tableau 16 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 20 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro 40
Tableau 17 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Gilmont 41
Tableau 18 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Allegro 41
Tableau 19 : Écart entre la lecture affichée au rotamètre et le débit de référence – Rotamètre Gilmont 42
Tableau 20 : Écart entre la lecture affichée au rotamètre et le débit de référence – Rotamètre Allegro 43
Tableau 21 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 5 lb_f/po^2 . 44
Tableau 22 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 5 lb_f/po^2 .. 45
Tableau 23 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 10 lb_f/po^2 46
Tableau 24 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 10 lb_f/po^2 47
Tableau 25 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 15 lb_f/po^2 48
Tableau 26 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 15 lb_f/po^2 49
Tableau 27 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 20 lb_f/po^2 50
Tableau 28 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 20 lb_f/po^2 51

LISTE DES FIGURES

Page
Figure 1 : Concordance entre les mesures des deux débitmètres de référence 55
Figure 2 : Impact de l'augmentation de la température de l'air circulant dans le réseau sur la réponse du débitmètre massique 55
Figure 3 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Gilmont 56
Figure 4 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Allegro 56
Figure 5 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Gilmont 57
Figure 6 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Allegro 57
Figure 7 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Gilmont 58
Figure 8 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Allegro 58
Figure 9 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po_2) – Rotamètre Gilmont 59
Figure 10 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po_2) – Rotamètre Allegro 60
Figure 11 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 10 lb_f/po_2) – Rotamètre Gilmont 61
Figure 12 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 10 lb_f/po_2) – Rotamètre Allegro 62
Figure 13 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 15 lb_f/po_2) – Rotamètre Gilmont 63
Figure 14 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 15 lb_f/po_2) – Rotamètre Allegro 64
Figure 15 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 20 lb_f/po_2) – Rotamètre Gilmont 65
Figure 16 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 20 lb_f/po_2) – Rotamètre Allegro 66
Figure 17 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie du rotamètre ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Gilmont 67
Figure 18 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie du rotamètre ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Allegro 67
Figure 19 : Débit volumique et pression manométrique au refoulement de la pompe pour différentes combinaisons d'éléments (sans respirateur) 68
Figure 20 : Débit volumique et pression manométrique au refoulement de la pompe (avec respirateurs) 68
Figure 21 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 5 lb_f/po^2 69
Figure 22 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 5 lb_f/po^2 70
Figure 23 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 10 lb_f/po^2 .. 71
Figure 24 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 10 lb_f/po^2 ... 72
Figure 25 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 15 lb_f/po^2 .. 73
Figure 26 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 15 lb_f/po^2 ... 74
Figure 27 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 20 lb_f/po^2 .. 75
Figure 28 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 20 lb_f/po^2 ... 76

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier madame France C. Lafontaine ainsi que messieurs Claude Létourneau, Henri Scory et Daniel Drolet pour leur contribution respective.

Introduction

À la demande des intervenants du réseau, une évaluation de certains rotamètres utilisés pour la mesure des débits des pompes à air ambiant a été réalisée. La connaissance du débit fourni par ces pompes est importante parce qu'elles sont fréquemment employées pour alimenter des systèmes de protection respiratoire à adduction d'air. À priori le rotamètre constitue un instrument de mesure relativement simple d'utilisation pouvant être inséré facilement soit à l'extrémité d'un réseau d'alimentation d'air ou entre les composants du réseau. Si le rotamètre est inséré dans le réseau et qu'il est soumis à des conditions d'utilisation (pression et température de ligne) différentes des conditions de référence spécifiées par le manufacturier, le débit qu'il affichera devra être corrigé théoriquement, ce qui nécessite la mesure des paramètres de pression et de température. Afin de justifier la prise de mesures de ces deux paramètres, il est important de connaître l'ordre de grandeur de l'écart entre le débit affiché et le débit corrigé.

Par ailleurs, lors de la mesure du débit d'air qui alimente un équipement de protection respiratoire (masque, cagoule), il est de pratique courante de substituer cet équipement par un rotamètre. Or, des expériences préliminaires effectuées en laboratoire ont montré qu'en procédant ainsi, la pression manométrique au refoulement de la pompe chute ce qui implique une augmentation soudaine du débit circulant dans le réseau. L'étude réalisée vise premièrement à évaluer la réponse des rotamètres lorsque soumis à des conditions de température et de pression variées et deuxièmement à déterminer l'ampleur de la surestimation du débit réel lorsqu'il est utilisé en remplacement de l'équipement de protection respiratoire.

Les objectifs spécifiques de la présente étude sont les suivants :

- évaluer par tests comparatifs la précision des mesures de deux rotamètres en utilisation dans le réseau de la santé et de la sécurité au travail et leurs limites d'utilisation;
- valider et préciser les équations de conversion de débits à appliquer, et;
- préciser les paramètres et la méthodologie de mesure à utiliser lors de la vérification du débit d'alimentation des systèmes de protection respiratoire à adduction d'air.

Cadre théorique

Un rotamètre est un orifice de section annulaire variable dans lequel est placé une masse (flotte) qui se déplace jusqu'à un point d'équilibre dont la hauteur dépend de la poussée du fluide circulant dans le rotamètre. Dans le cas d'un orifice traditionnel, l'aire de l'orifice est constante et la perte de charge à ses bornes varie en fonction du débit. Pour un rotamètre, l'inverse se produit, l'aire de l'orifice change en fonction du débit et la perte de pression aux bornes du rotamètre demeure relativement constante. La perte de charge occasionnée par un rotamètre est faible relativement aux autres composants d'un réseau d'alimentation d'air et demeure constante.

Un rotamètre est étalonné dans des conditions précises de température et de pression : les conditions d'étalonnage sont généralement appelées conditions de référence. Pour déterminer le débit équivalent circulant dans un rotamètre, utilisé dans des conditions différentes de ses conditions d'étalonnage, il est nécessaire de connaître (1) la température et la pression au niveau du rotamètre lors de la mesure et (2) ses conditions d'étalonnage.

Nous référons le lecteur à la publication de l'IRSST intitulée *Mémento sur l'utilisation des pompes et des débitmètres* (1) pour une description du principe de fonctionnement du rotamètre ainsi que pour le développement des équations de conversion de débits à appliquer lorsque le rotamètre est utilisé dans des conditions autres que celles de référence.

En résumé les équations à appliquer sont les suivantes :

- pour obtenir le débit réel aux conditions de température et de pression de la ligne (lorsque le rotamètre est inséré dans une conduite)

$$Q_u = Q_{lu}(P_s\, T_u / P_u T_s)^{0,5}$$

où Q_u : débit réel aux conditions d'utilisation (Lpm)
P_u : pression absolue en amont du rotamètre (kPa)
T_u : température absolue en amont du rotamètre (°K)
Q_{lu} : débit indiqué sur le rotamètre aux conditions de référence du rotamètre (Lpm)
P_s : pression absolue de référence du rotamètre (kPa)
T_s : température absolue de référence du rotamètre (°K)

- pour convertir le débit réel (Q_u) aux conditions d'étalonnage du débitmètre de référence utilisé dans le montage ou pour comparer le débit réel avec un débit prescrit par une norme ou un débit mesuré avec un autre débitmètre dont, dans les deux cas, les conditions de références sont spécifiées ou pour calculer le débit équivalent dans d'autres conditions

$$Q_n = Q_u(P_u/P_n)(T_n/T_u)$$

où Q_n : débit équivalent dans les conditions du débitmètre de référence ou d'une norme ou dans d'autres conditions de référence (Lpm)
P_n : pression absolue de référence (débitmètre ou norme) (kPa)
T_n : température absolue de référence (débitmètre ou norme) (°K)
Q_u : débit réel aux conditions d'utilisation (Lpm)
P_u : pression aux conditions d'utilisation du rotamètre (kPa)
T_u : température aux conditions d'utilisation du rotamètre (°K)

Instrumentation et méthodologie

Deux modèles de rotamètres ont été étudiés : le rotamètre Gilmont GB128 (photo A) et le rotamètre Allegro (photo B). Il s'agit de rotamètres sans soupape de régulation de débit. Les conditions de référence et l'incertitude apparaissant dans les spécifications des manufacturiers sont indiquées au tableau suivant.

Marque	Débit	Pression	Température	Incertidude
Gilmont GB 128	0-500 Lpm	760 mmHg	21,1 °C	± 4% (échelle)
Allegro[(1)]	0-8 pi^3/min	14,7 lb_f/po^2	70 °F	± 5% (échelle)

[(1)] équivalents métriques : 0 – 226,5 Lpm, 760 mmHg, 21,1 °C

Le montage présenté à la figure 1 (annexe) a été utilisé pour la réalisation des tests en laboratoire. Ce banc d'essai permet de soumettre les rotamètres à différentes conditions de pression et de température.

Deux sources d'alimentation en air comprimé ont été utilisées lors de la réalisation des tests. Pour les essais nécessitant un débit d'air de 0 à 500 Lpm, un réseau d'air comprimé alimenté par deux compresseurs a été utilisé. Une soupape de réduction de pression à l'entrée du montage permet d'ajuster la pression. Pour les tests réalisés à débit constant dans les conditions régulières d'utilisation des systèmes à adduction d'air (pour l'alimentation d'un respirateur), une pompe à air ambiant de marque 3M (modèle 8050501) a été employée. Selon les spécifications du manufacturier (2), la pompe peut fournir, dans les conditions normales de température (21°C) et de pression (101,3 kPa) un débit maximal de 283 Lpm (refoulement de la pompe) et/ou opérer à une pression de refoulement maximale de 103 kPa. Pour certains tests, un dessiccateur a été utilisé pour empêcher la condensation à l'intérieur du réseau et pour minimiser l'influence potentielle de la vapeur d'eau sur la réponse des instruments de lecture et des équipements évalués.

Les instruments de mesure de référence pour la mesure des débits d'air étaient deux débitmètres massiques de marque MKS (modèles 0558A-22523 et 0558A-200L-SV) dont la précision est de 1% de la pleine échelle, soit respectivement de ± 4 Lpm et ± 2 Lpm. Pour les débits supérieurs à 400 Lpm, ces débitmètres ont été installés en parallèle. Les températures de l'air ont été mesurées à l'aide de sondes thermiques (thermocouples de type T) de marque Almemo (modèle ZA 9000-FST) et d'un multimètre Almemo (modèle 2290-8). Les pressions manométriques ont été mesurées à l'aide de manomètres de marque WIKA (0-30 lb_f/po^2) et ASHCROFT (0-100 lb_f/po^2). Quant cela était nécessaire l'intensité du courant électrique alimentant le moteur de la pompe à air a été mesurée à l'aide d'un ampèremètre de marque YEW (modèle 2433). Un bain thermique de marque Julabo (modèle F20) a été utilisé pour faire varier la température de l'air circulant dans le réseau et un échangeur thermique a été installé à la sortie du rotamètre soumis aux variations de température dans le but de contrôler la température de l'air à l'entrée des débitmètres massiques à l'intérieur de leur plage d'opération qui se situe entre 0 °C et 40°C.

Il est à noter que les unités des mesures (pression, température, débit) sont rapportées telles qu'elles sont lues sur les différents instruments, ce qui explique l'utilisation de deux systèmes d'unités (SI et impérial). Cette procédure a été retenue pour faciliter le réglage des instruments en fonction des tests à réaliser. Lorsque requise, la conversion des mesures a été effectuée lors du calcul des débits. Les facteurs de conversion utilisés sont les suivants :

1 mmHg = 0,133 kPa
1 lb_f/po^2 = 6,89 kPa
$°K = °C + 273$
1 pi^3/min = 28,317 Lpm

Par ailleurs, la convention utilisée pour rapporter les données est basée sur le dernier chiffre significatif affiché sur l'appareil. Ainsi, pour le débitmètre de référence MKS utilisé pour la plage de 0-400 Lpm (modèle 0558A-22523), les valeurs sont affichées à l'unité alors que pour le débitmètre MKS utilisé pour la plage de 0-200 Lpm (modèle 0558A-200L-SV) les valeurs sont affichées à la première décimale. La même règle est appliquée lors de la conversion des valeurs

pour l'obtention de débits équivalents. Pour le rotamètre de marque Gilmont, les données sont affichées au quart de la plus petite division soit, 0,25 x 20 Lpm = 5 Lpm tandis que pour le rotamètre de marque Allegro les données sont affichées à la demi de la plus petite division soit, 0,5 x 0,2 pi^3/min = 0,1 pi^3/min.

Différentes méthodologies ont été utilisées lors des tests. Elles sont regroupées en fonction des objectifs spécifiques mentionnés précédemment :

1) Établissement des limites d'utilisation des débitmètres massiques de référence par comparaison quantitative des débits.
2) Vérification de la réponse des rotamètres.
3) Comparaisons quantitatives des débits des rotamètres soumis à des conditions de pression et de température variables.
4) Réponse de la pompe à air ambiant en fonction de la variation de la charge aéraulique.

Calcul de l'incertitude

L'évaluation des rotamètres a été effectuée en vérifiant la concordance entre les débits des rotamètres et ceux des débitmètres de référence. La concordance a été établie en comparant pour chaque paire de mesures, les valeurs et leur incertitude absolue et en déterminant si l'écart entre les deux valeurs est significatif ou non significatif (3). Les mesures sont considérées égales lorsque l'écart entre les valeurs est inférieur ou égal à la somme de leurs incertitudes absolues : ainsi l'écart est non significatif et est occasionné par les incertitudes. Les incertitudes sont, respectivement pour les rotamètres Gilmont et Allegro, de ± 20 Lpm (soit 4% de la pleine échelle) et de ± 11 Lpm (soit 5% de la pleine échelle). Quant aux incertitudes des débitmètres de référence ils sont de l'ordre de ± 4 Lpm pour le débitmètre MKS (0-400 Lpm) et de ± 2 Lpm pour le débitmètre MKS (0-200 Lpm). En conséquence, il y a concordance de débits entre le rotamètre Gilmont et le débitmètre de référence MKS lorsque l'écart entre les mesures est inférieur à ± 24 Lpm (soit 20 Lpm + 4 Lpm). Pour le rotamètre Allegro, l'écart doit être inférieur à ± 15 Lpm (soit 11 Lpm + 4 Lpm).

Établissement des limites d'utilisation des débitmètres massiques de référence par comparaison quantitative des débits

La première série de tests a été réalisée pour 1) vérifier la concordance entre les mesures des deux débitmètres de référence, et 2) évaluer l'impact de la température de l'air circulant dans la conduite sur la réponse de ces deux instruments. Les mesures sont considérées égales lorsque l'écart entre les valeurs est inférieur ou égal à la somme de leurs incertitudes absolues qui est de 6 Lpm. L'impact de la température de l'air circulant dans le réseau sur la réponse des deux instruments a été déterminé pour s'assurer de la justesse de la plage d'utilisation recommandée par le manufacturier.

De façon plus spécifique les tests effectués sont les suivants :

a) L'écart a été évalué par une comparaison quantitative directe de débits affichés par les deux débitmètres de référence de marque MKS (modèles 0558A-22523 et 0558A-200L-SV). Les essais sont effectués pour une gamme de débits qui s'étend de 25 à 200 Lpm (0°C, 760 mmHg) à une température approximative de (23 ± 2)°C. Le test a été refait périodiquement pendant la durée de l'étude pour s'assurer que la concordance entre les débits était maintenue. Au besoin, un étalonnage des instruments a été effectué.

b) La température maximale d'utilisation des débitmètres de référence MKS a été évaluée par une comparaison quantitative des débits à différentes températures. La température de l'air circulant dans le banc d'essai est augmentée à l'aide d'un bain thermique situé entre les deux débitmètres. Les essais sont effectués pour une gamme de débits qui s'étend de 25 à 200 Lpm (0°C, 760 mmHg) avec un incrément de 25 Lpm et ce pour chacune des températures à l'entrée du débitmètre MKS 200. Les températures ont été ajustées successivement à 25°C, 30 °C et 40°C (±2°C).

Vérification de la réponse des deux rotamètres identiques de marque Gilmont et Allegro

La deuxième série de tests a été effectuée dans le but de s'assurer de l'état de fonctionnement des rotamètres. Deux rotamètres de même marque sont placés en série dans le banc d'essai et le débit lu est comparé à la valeur affichée par le débitmètre de référence. Afin de comparer les débits mesurés lors des expérimentations, les débits lus ont été convertis à l'aide des équations 1 et 2 pour obtenir 1) les débits réels aux conditions d'utilisation (pression et température), et subséquemment, 2) les débits équivalents aux conditions de référence du débitmètre massique de référence qui sont de 0°C et 760 mmHg. Les mesures sont considérées égales lorsque l'écart entre les valeurs est inférieur ou égal à la somme des incertitudes absolues, soit 40 Lpm pour le rotamètre Gilmont et 22 Lpm pour le rotamètre Allegro.

Comparaison quantitative des débits des rotamètres soumis à des conditions de pression et de température variables

Quatre expérimentations ont été réalisées pour évaluer la concordance entre les débits volumiques mesurés par les débitmètres de référence et les rotamètres. Afin de comparer les débits mesurés lors des expérimentations, les débits lus ont été convertis à l'aide des équations 1 et 2 pour obtenir 1) les débits réels aux conditions d'utilisation (pression et température), et subséquemment, 2) les débits équivalents aux conditions de référence du rotamètre qui sont de 21°C et 760 mmHg. Les mesures sont considérées égales lorsque l'écart entre les valeurs est inférieur ou égal à la somme des incertitudes absolues soit 24 Lpm pour le rotamètre Gilmont et 15 Lpm pour le rotamètre Allegro. Quatre expérimentations ont été conduites pour réalisers ce volet de l'étude, lesquelles sont résumées au tableau qui suit.

ROTAMÈTRE (échelle d'essais)	EXPÉRIMENTATION 1	EXPÉRIMENTATION 2	EXPÉRIMENTATION 3	EXPÉRIMENTATION 4
Gilmont (100 à 400 Lpm)	T = 21 (± 2°C)	T = 21 (± 2°C)	T = 10, 20, 30, 35 (±2°C)	T = 21 (± 2°C)
Allegro (50 à 350 Lpm)	P = 15 lb_f/po^2	P = 5 à 25 lb_f/po^2	P = 5, 10, 15, 20 lb_f/po^2	P = sortie ouverte à P_{atm}

Expérimentation 1 – Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes

Les essais effectués couvrent une gamme de débits qui s'étend de 100 à 400 Lpm (21°C, 760 mmHg) pour le rotamètre de marque Gilmont et de 50 à 350 Lpm (21°C, 760 mmHg) pour le rotamètre Allegro. La pression et la température en amont du rotamètre sont maintenues constantes lors des essais. La pression est fixée à 15 lb_f/po^2 et la température à (21 ± 2 °C).

Expérimentation 2 – Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables

Les essais effectués couvrent une gamme de débits qui s'étend de 100 à 400 Lpm (21°C, 760 mmHg) pour le rotamètre de marque Gilmont et de 50 à 300 Lpm (21°C, 760 mmHg) pour le rotamètre de marque Allegro. La température en amont du rotamètre est maintenue constante à (21 ± 2 °C). Les tests sont réalisés à 5 pressions différentes soit, 5, 10, 15, 20 et 25 lb_f/po^2.

Expérimentation 3 – Vérification des débits : écoulement à températures et à pressions variables

Les essais effectués couvrent une gamme de débits qui s'étend de 100 à 400 Lpm (21°C, 760 mmHg) pour le rotamètre de marque Gilmont et de 50 à 300 Lpm (21°C, 760 mmHg) pour le rotamètre de marque Allegro. À chaque débit, les tests sont réalisés pour les différentes combinaisons de température et de pression possibles en amont du rotamètre; les températures et les pressions étant fixées successivement à 10, 20 , 30 et 35 °C (± 2 °C) et 5, 10, 15, et 20 lb_f/po^2.

Expérimentation 4 – Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie du rotamètre ouverte à l'atmosphère

Les essais effectués couvrent une gamme de débits qui s'étend de 100 à 400 Lpm (21°C, 760 mmHg) pour le rotamètre de marque Gilmont et de 50 à 250 Lpm (21°C, 760 mmHg). La température en amont du rotamètre est maintenue constante à (21 ± 2°C).

Réponse de la pompe à air ambiant en fonction de la variation de la charge aéraulique

Une évaluation comparative a été réalisée pour déterminer l'impact de la charge aéraulique de différents éléments sur le débit d'air à la sortie de la pompe. La quantité d'air que peut débiter une pompe varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment de la résistance offerte à l'écoulement de l'air par les composants (canalisations, raccords, respirateurs, stations de mesure de débits) que l'on retrouve sur le réseau d'alimentation. Les relevés des débits et des pressions manométriques (au refoulement de la pompe) ont été effectués en insérant et combinant différents éléments sur le réseau, soit des raccords à accouplement rapide de type Foster (3/8 po.) et Hansen (1/4 po.), les respirateurs 3M et North, les rotamètres Gilmont et Allegro.

Résultats et discussion

Établissement des limites de fonctionnement des débitmètres massiques de référence

Tableau 1
Figure 1

Les résultats présentés au tableau 1 et à la figure 1 démontrent que les mesures des deux débitmètres MKS sont égales puisque tous les écarts sont inférieurs à la somme de leurs incertitudes qui se situe à ± 6 Lpm (0°C, 760 mmHg). Le test a été effectué dans des conditions relativement isothermes si l'on considère les faibles variations de température observées en amont de chacun des débitmètres; les températures moyennes étant respectivement de (23,7 ± 0,5)°C et (24,4 ± 0,7)°C. L'augmentation de la température entre les deux débitmètres s'explique par le principe de fonctionnement de l'instrument qui, par effet Joule induit un réchauffement de l'air qui s'écoule à travers le débitmètre.

Tableau 2
Figure 2

Les résultats présentés au tableau 2 et à la figure 2 démontrent que de façon générale l'écart entre les mesures des deux débitmètres augmente avec l'accroissement de la température de l'air. Les mesures sont considérées égales lorsque les écarts sont inférieurs à la somme de leurs incertitudes absolues qui se situe à ± 6 Lpm (0°C, 760 mmHg). À cet égard, on observe que l'écart excède la valeur de référence lorsque la température est de l'ordre de (40 ± 2)°C et le débit supérieur à 100 Lpm. Afin de limiter l'écart entre les mesures de ces deux débitmètres, il est recommandé de limiter la température de l'air en amont du MKS 200 à 30°C.

Vérification de la réponse des deux rotamètres identiques de marque Gilmont et Allegro

Tableaux
3 et 4
Figures 3
et 4

Tel qu'indiqué aux tableaux 3 et 4 ainsi qu'aux figures correspondantes, les tests de comparaison quantitative de débits confirment que les réponses des 2 rotamètres de marque Gilmont ainsi que des 2 rotamètres de marque Allegro sont identiques, les écarts entre les mesures étant inférieurs à la somme de leurs incertitudes absolues qui sont respectivement de ± 40 Lpm et de ± 22 Lpm.

Comparaisons quantitatives des débits des rotamètres soumis à des conditions variées de pression et de température

Expérimentation 1 – Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes

Rotamètre de marque Gilmont

Tableau 5
Figure 5

L'examen des données présentées au tableau 5 et à la figure 5 révèle que la concordance (Q_{MKS} - $Q_{n(24202)}$ ≤24 Lpm) entre les débits du débitmètre de référence et ceux du rotamètre existe jusqu'à un débit (Q_{n24202}) qui se situe à 314 Lpm (21°C, 760 mmHg).

Rotamètre de marque Allegro

Tableau 6
Figure 6

L'examen des données présentées au tableau 6 et à la figure 6 révèle que la concordance (Q_{MKS} - $Q_{n(54828)}$ ≤15 Lpm) entre les débits du débitmètre de référence et du rotamètre existe jusqu'à un débit (Q_{n54828}) qui se situe à 165 Lpm (21°C, 760 mmHg).

ROTAMÈTRE	EXPÉRIMENTATION 1 (T = 21 ± 2 °C et P = 15 lb_f/po^2) Q_n (Lpm)
Gilmont (100 - 400 Lpm) (Q_{MKS} - Q_n ≤24 Lpm)[1]	314
Allegro (50 – 350 Lpm) (Q_{MKS} - Q_n ≤15 Lpm)[1]	165

[1] : critère de concordance de débits
Q_n : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Expérimentation 2 – Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables

Rotamètre de marque Gilmont

Tableau 7
Figure 7

L'examen des données du tableau 7 et à figure 7 révèle que la concordance (Q_{MKS} - $Q_{n(24202)}$ ≤ 24 Lpm) entre les débits du débitmètre de référence et les débits équivalents du rotamètre existe jusqu'à un débit qui varie en fonction de la pression manométrique en amont du rotamètre. Ainsi à une pression de 5 lb_f/po^2 la concordance des débits existe jusqu'à un débit de 265 Lpm (21°C, 760 mmHg) alors qu'à 25 lb_f/po^2 la concordance existe jusqu'à un débit de 430 Lpm (21°C, 760 mmHg). On observe que plus la pression manométrique est élevée plus la plage de concordance est élevée.

Rotamètre de marque Allegro

Tableau 8
Figure 8

L'examen des données du tableau 8 et la figure 8 révèle que la concordance (Q_{MKS} - $Q_{n(54828)}$ ≤ 15 Lpm) entre les débits du débitmètre de référence et les débits équivalents du rotamètre varie en fonction de la pression manométrique en amont du rotamètre.

ROTAMÈTRE	EXPÉRIMENTATION 2 ($T = 21 \pm 2$ °C) Q_n (Lpm) P (lb_f/po^2)				
	5	10	15	20	25
Gilmont (100 - 400 Lpm) ($Q_{MKS} - Q_n \leq 24$ Lpm)[1]	265	320	353	370	430
Allegro (50 - 350 Lpm) ($Q_{MKS} - Q_n \leq 15$ Lpm)[1]	170	140	185	73 à 105, 140	75 à 110, 153

[1] : critère de concordance de débits

Q_n : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Expérimentation 3 – Vérification des débits : écoulement à températures et à pressions variables

Rotamètre de marque Gilmont

Tableaux 9,11,13,15

Figures 9,11,13,15

L'examen des données des tableaux 9, 11, 13, 15 et des figures correspondantes indique que la plage de concordance ($Q_{MKS} - Q_{n(24202)} \leq 24$ Lpm) des débits varie en fonction de la pression en amont du rotamètre et de la température. À titre d'exemple, lorsque la pression manométrique est de 5 lb_f/po^2, la plage de concordance s'accroît avec la diminution de la température en rapport avec une température de référence de 21°C, alors qu'elle diminue avec l'augmentation de la température. Ainsi, à une température de (10 ± 2)°C, la concordance des débits s'étend jusqu'à un débit ($Q_{n(24202)}$) de 256 Lpm (21°C, 760 mmHg) alors qu'à une température de (35 ± 2)°C, la concordance arrête à 236 Lpm. De façon générale on constate que la plage de concordance augmente avec l'augmentation de la pression manométrique.

Rotamètre de marque Allegro

Tableaux 10,12,14,16
Figures 10,12,14,16

L'examen des données des tableaux 10, 12, 14, 16 et des figures correspondantes indique que la concordance des débits ($Q_{MKS} - Q_{n(54828)} \leq 15$ Lpm) varie en fonction de la pression en amont du rotamètre et de la température. À titre d'exemple, lorsque la pression manométrique est de 10 lb_f/po^2, la plage de concordance augmente avec la diminution de la température en rapport avec une température de référence de 21°C, alors qu'elle diminue avec l'augmentation de la température. Ainsi, à une température de (10 ± 2)°C, la plage de concordance s'étend jusqu'à un débit ($Q_{n(54828)}$) de 170 Lpm (21°C, 760 mmHg) alors qu'à une température de (35 ± 2)°C, la plage de concordance s'étend jusqu'à 145 Lpm. Il est à noter que les tendances observées sont différentes à chaque niveau de pression manométrique. Il est à noter que pour l'ensemble des tests les débits équivalents se situent sur la limite supérieur de la zone de concordance ce qui indique une tendance à sous-estimer les débits.

ROTAMÈTRE	EXPÉRIMENTATION 3 Q_n (Lpm) P (lb_f/po^2)				
	T(°C)	5	10	15	20
Gilmont (100 - 400 Lpm) (Q_{MKS} - $Q_n \leq 24$ Lpm)[1]	10	256	344	360	370
	20	244	320	365	> 375
	30	235	320	369	376
	35	236	320	347	356
Allegro (50 - 350 Lpm) (Q_{MKS} - $Q_n \leq 15$ Lpm)[1]	10	155	170	160	145
	20	160	140	180	165
	30	150	150	135	147
	35	185	145	145	135

[1] : critère de concordance de débits
Q_n : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Expérimentation 4 – Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie du rotamètre ouverte à l'atmosphère

Rotamètre de marque Gilmont

Tableau 17
Figure 17

Le test a été réalisé à une température moyenne de (21,2 ± 0,2) °C. Le débit maximal atteint au débitmètre de référence est de 414 Lpm (21°C, 760 mmHg) à une pression manométrique de 3,2 lb_f/po^2, ce qui correspond au débit maximal pouvant être affiché au rotamètre soit 500 Lpm. On note que la pression en amont du rotamètre varie en fonction de l'augmentation du débit d'air circulant dans le montage. Les données présentées au tableau 17 et à la figure 17 indiquent que la concordance (Q_{MKS} - $Q_{n(24202)} \leq 24$ Lpm) existe jusqu'à un débit qui se situe à 254 Lpm (21°C, 760 mmHg). Ces résultats sont en accord avec la tendance observée précédemment (cf. *Expérimentation 2*, tableau 7) à l'effet que plus la pression manométrique est basse plus la plage de concordance est limitée.

Rotamètre de marque Allegro

Tableau 18
Figure 18

Le test a été réalisé à une température moyenne de (21,8 ± 0,4) °C. Le débit maximal atteint au débitmètre de référence est de 244 Lpm (21°C, 760 mmHg) à une pression manométrique de 0,2 lb_f/po^2, ce qui correspond au débit maximal pouvant être affiché au rotamètre soit 8 $pi.^3/min$ (227 Lpm). On note que la pression en amont du rotamètre varie en fonction de l'augmentation du débit d'air circulant dans le montage. Les données présentées au tableau 18 et à la figure 18 indiquent que la concordance (Q_{MKS} - $Q_{n(54828)} \leq 15$ Lpm) existe jusqu'à un débit qui se situe à 207 Lpm (21°C, 760 mmHg). Les résultats sont comparables à ceux obtenus à des pressions manométriques plus élevées (cf. *Expérimentation 2*, tableau 8).

ROTAMÈTRE	EXPÉRIMENTATION 4 ($T = 21 \pm 2$ °C et P_{atm}[2]) Q_n (Lpm)
Gilmont (100 - 400 Lpm) ($Q_{MKS} - Q_n \leq 24$ Lpm)[1]	254
Allegro (50 – 350 Lpm) ($Q_{MKS} - Q_n \leq 15$ Lpm)[1]	207

[1] : critère de concordance de débits
[2] : rotamètre ouvert à l'atmosphère à la sortie
Q_n : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Réponse de la pompe à air ambiant en fonction de la variation de la charge aéraulique

Les tests ont été effectués sur seulement un modèle de pompe à air ambiant soit une pompe de marque 3M (modèle 8050501). Le but de cette évaluation est de démontrer l'impact de la charge aéraulique des différents composants ou combinaison de composants d'un réseau d'alimentation sur le débit d'air au refoulement de la pompe.

Figures 19, 20

On observe à la figure 19 que le débit d'alimentation diminue avec l'ajout des éléments, passant de 264 (± 4) Lpm (pompe seulement) à 258 (± 4) Lpm et 256 (± 4) Lpm lorsque les rotamètres Allegro et Gilmont sont insérés dans le montage avec les raccords de type Foster (3/8 po.) et à 243 (± 4) et 238 (± 4) Lpm avec le raccord Hansen (1/4 po.). Comparativement au rotamètre Allegro, le rotamètre Gilmont engendre une perte de charge statique légèrement supérieure d'où le débit d'alimentation à la sortie de la pompe plus bas. La réduction du débit est davantage liée au type de raccord rapide utilisé : le raccord rapide de marque Hansen ayant un diamètre de plus petite dimension (1/4 po. vs 3/8 po.).

De plus on constate à la figure 20 que le débit d'alimentation varie en fonction du modèle de respirateur et/ou de l'ajustement lorsque possible. Ainsi le débit d'alimentation à la sortie de la pompe est de 207 (± 4) Lpm en présence du respirateur 3M (avec le rotamètre Gilmont) et de 202 (± 4) Lpm en position minimale et 219 (± 4) en position maximale pour les respirateur North.

Réponses à des questions fréquemment soulevées par des utilisateurs

Comment doit-on rapporter les résultats affichés au rotamètre?

Les débits affichés au rotamètre doivent être convertis en suivant la procédure utilisée dans le présent mémento, soit en calculant le débit réel à l'aide de l'équation (1) pour rapporter les valeurs aux conditions de température et de pression observées dans le réseau. Dans le cas ou le débit réel doit être comparé à une valeur prescrite dans une norme ou une mesure d'un débitmètre qui sont dans les deux cas rapportées dans des conditions différentes de celles auxquelles est soumis le rotamètre, le débit équivalent doit être calculé à l'aide de l'équation (2). L'incertitude du rotamètre doit toujours être considérée, particulièrement lorsque la valeur représente un pourcentage important de la valeur de référence devant être vérifiée. C'est le cas notamment de

l'incertitude du rotamètre Gilmont qui est de l'ordre de ±20 Lpm (soit 4% de l'échelle) ce qui représente 18% du débit minimal de 115 Lpm prescrit pour un masque ou un demi-masque et 12% du débit minimal de 170 Lpm prescrit pour une cagoule. En ce qui concerne l'incertitude du rotamètre Allegro, elle est établie à 0,4 pi^3/min (soit 5% de l'échelle) ce qui représente 10% du débit minimal de 4 pi^3/min prescrit pour un masque ou un demi-masque et 7% du débit minimal de 6 pi^3/ min prescrit pour une cagoule.

Est-ce que la correction des débits lus est nécessaire?

Pour répondre à cette question nous avons calculé, à partir des données colligées à l'expérimentation 3, l'écart qui existe entre la valeur affichée au débitmètre de référence (Q_{MKS} rapportée à 21°C, 760 mmHg) et la valeur lue au rotamètre ($Q_{lu(2402\ ou\ 54828)}$). Dans la mesure où l'écart est inférieur à la somme des incertitudes, la conversion pourrait être évitée.

Rotamètre de marque Gilmont

Tableau 19

L'examen des données (cf. tableau 19) révèle qu'à une pression manométrique de 5 lb_f/po^2 et une température moyenne de l'air de (10 ± 2)°C, les écarts ($Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$) sont inférieurs à la somme des incertitudes qui est de l'ordre de 24 Lpm. Par contre, pour les autres températures les écarts sont supérieurs à la somme des incertitudes à partir d'un débit qui se situe entre 300 et 400 Lpm au débitmètre de référence. En ce qui concerne les écarts calculés aux autres niveaux de pression, soit 10, 15 et 20 lb_f/po^2, l'écart dépasse la somme des incertitudes dans presque la totalité des situations. En conséquence, il apparaît nécessaire de procéder au calcul des débits réels d'autant plus qu'on ne connaît pas, entre 5 et 10 lb_f/po^2, la pression et les débits à partir desquels les écarts sont supérieurs à la somme des incertitudes. On observe de plus que l'écart s'accroît pour les débits lus avec l'augmentation de la pression en amont du rotamètre.

Tableau 17

Dans le cas du rotamètre ouvert à l'atmosphère (cf. *Expérimentation 4,* tableau 17), les tests effectués à une température (21 ± 2)°C révèlent que les écarts ($Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$) sont inférieurs à 24 Lpm jusqu'à un débit qui se situe entre 270 et 335 Lpm. En présence de ces conditions spécifiques de pression et de température seulement, il apparaît possible d'utiliser la lecture affichée au rotamètre.

Rotamètre de marque Allegro

Tableau 20

L'examen des données (cf. tableau 20) révèle que pour l'ensemble des températures et des niveaux de pression les écarts ($Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$) sont supérieurs à la somme des incertitudes qui est de l'ordre de 15 Lpm. On observe de plus que pour une même température de référence l'écart entre le débit de référence et le débit du rotamètre s'accentue avec l'augmentation de la pression manométrique en amont du rotamètre ainsi qu'avec l'augmentation du débit circulant dans le réseau.

Tableau 18

Dans le cas du rotamètre ouvert à l'atmosphère (cf. *Expérimentation 4,* tableau 18), les tests effectués à une température (21 ± 2)°C révèlent que les écarts ($Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$) sont inférieurs à 15 Lpm jusqu'à un débit qui se situe approximativement entre 187 et 227 Lpm. En présence de ces conditions spécifiques de pression et de température seulement, il apparaît possible d'utiliser la lecture affichée au rotamètre.

Est-ce la correction pour la température est indispensable lors du calcul des débits réels ?

Pour répondre à cette question nous avons procédé au calcul des débits réels obtenus lors des essais de l'expérimentation no 3 en présumant que la température de l'air circulant dans le montage est égale à 21°C (294°K).

Rotamètre de marque Gilmont

Tableaux 21, 23, 25, 27

Figures 21, 23, 25, 27

Les résultats obtenus sont présentés aux tableaux 21, 23, 25, 27 ainsi qu'aux figures correspondantes. Pour l'ensemble des pressions manométriques, lorsque la température de l'air est supérieure à la température de référence de 21°C, le fait de ne pas introduire la température réelle dans le calcul de conversion entraîne un abaissement du point d'intersection entre la courbe de débits et la zone de concordance. Ainsi, à une pression de 10 lb_f/po^2 et une température de (30 ± 2)°C, la concordance des débits s'étend jusqu'à un débit ($Q_{n(24202)}$) de 320 Lpm (21°C, 760 mmHg) comparativement à 284 Lpm si la température de référence (21°C) est utilisée. La tendance inverse est observée lorsque la température est inférieure à la température de référence pour les pressions de 5, 10 et 15 lb_f/po^2. Sur la base de ces résultats, considérant que la température de l'air des réseaux d'alimentation se situe généralement à l'intérieur des températures utilisées lors des essais, il serait possible de ne pas tenir compte de la température réelle en limitant l'utilisation du rotamètre au débit correspondant au plus bas point d'intersection (entre la courbe de débits et la zone de concordance) obtenu pour la totalité des températures de chacune des pressions manométriques. Ainsi, à une pression de 5 lb_f/po^2 le rotamètre pourrait être utilisé jusqu'à un débit de 216 Lpm (soit 236 Lpm moins l'incertitude de 20 Lpm correspondant à 4% de l'échelle tel que spécifié par le manufacturier) alors que pour les autres pressions les débits maximaux seraient de 250 Lpm (10 lb_f/po^2), 300 Lpm (15 lb_f/po^2) et 316 Lpm (20 lb_f/po^2). Bien que ces limites ne permettent pas d'utiliser le rotamètre sur sa pleine échelle de concordance, il s'agit de valeurs qui sont supérieures aux débits minimaux de 115 Lpm et 170 Lpm prescrits par la réglementation.

Rotamètre de marque Allegro

Tableaux 22, 24, 26, 28

Figures 22, 24, 26, 28

Les résultats obtenus sont présentés aux tableaux 22, 24, 26, 28 ainsi qu'aux figures correspondantes. Pour l'ensemble des pressions manométriques, lorsque la température de l'air est inférieure à la température de référence de 21°C, le fait de ne pas introduire la température réelle dans le calcul de conversion entraîne un abaissement du point d'intersection entre la courbe de débits et la zone de concordance. Lorsque la température est supérieure à 21°C, la situation inverse est observée. Sur la base de ces résultats, considérant que la température de l'air des réseaux d'alimentation se situe généralement à l'intérieur des températures utilisées lors des essais, il serait possible de ne pas tenir compte de la température réelle en limitant l'utilisation du rotamètre à la plus basse zone de concordance observée pour l'ensemble des températures de chacune des pressions manométriques. Ainsi, à une pression de 5 lb_f/po^2 le rotamètre pourrait être utilisé jusqu'à un débit de 103 Lpm (soit 115 Lpm moins l'incertitude de 11 Lpm correspondant à 5% de l'échelle tel que spécifié par le manufacturier) alors que pour les autres pressions les débits maximaux seraient de 119 Lpm (10 lb_f/po^2), 129 Lpm (15 lb_f/po^2) et 61 Lpm (20 lb_f/po^2). On constate toutefois que certaines des valeurs sont inférieures aux débits minimaux de 115 Lpm et 170 Lpm prescrits par la réglementation.

Peut-on mesurer le débit d'air en remplaçant le masque à adduction d'air par le rotamètre?

Figures 19, 20

À partir des essais effectués lors de l'expérimentation no 4 on constate que plus la résistance à l'écoulement augmente plus la pression de refoulement à la sortie de la pompe augmente et plus le débit d'alimentation diminue. Comme la diminution du débit est directement liée à la perte de charge, et que celle-ci varie en fonction des éléments insérés dans le réseau (4), il en découle que la substitution du masque à adduction d'air par un rotamètre ne saurait être possible que dans la mesure ou ces deux éléments possèdent des coefficients de perte de charge de même grandeur. Or les résultats démontrent que les respirateurs et les rotamètres entraînent des réductions de débits différentes et nettement supérieures pour les respirateurs qui sont plus restrictifs. Le fait de n'utiliser que le rotamètre lors d'évaluation du débit entraîne une surestimation du débit d'alimentation. En conséquence les mesures de débits doivent être effectués en insérant le rotamètre (avec le manomètre) en amont du respirateur.

Conclusions et recommandations

L'étude portait sur l'évaluation de deux rotamètres de marque différentes utilisés principalement pour la mesure du débit d'alimentation des systèmes de protection respiratoire à adduction d'air. Les résultats de l'évaluation comparative effectuée à l'aide de débitmètres massiques de référence révèlent que la concordance des débits varie en fonction de la pression et de la température et qu'elle ne couvre pas la totalité de l'échelle de chacun des rotamètres. Comme l'échelle sur un rotamètre n'est valide que dans certaines conditions, un étalonnage est donc nécessaire pour les débits excédant la zone de concordance. Les résultats mettent nettement en évidence la nécessité d'intégrer les paramètres de pression et de température lors du calcul du débit réel. De plus, compte tenu de l'impact de la charge aéraulique sur le débit d'alimentation des pompes à air ambiant, les mesures de débits doivent être effectuées en insérant le rotamètre en amont du respirateur et en tenant compte des deux paramètres.

Il existe plusieurs modèles de rotamètres de différentes marques qui sont employés dans des secteurs de travail variés comme la production manufacturière, l'industrie pharmaceutique et les établissements de santé. Les résultats obtenus lors de l'étude, bien qu'ils ne puissent être transposés directement aux autres modèles de rotamètres, suggèrent à tout le moins de bien connaître les conditions de référence et d'utilisation de cet instrument lors de son achat ; une attestation de calibration réalisées aux conditions d'utilisation projetées devrait être fournie avec l'appareil et au besoin, une courbe d'étalonnage lorsque la réponse de l'instrument excède l'incertitude spécifiée par le manufacturier.

Références

(1)) Cloutier, Y., Lazure, L. – *Mémento sur l'utilisation des pompes et des débitmètres.* Institut de recherche Robert-Sauvé en santé du travail, Montréal, 2003, 39 p.

(2) 3m Canada Company, Instruction Manual, Ambiant Air Pump , Model 8050501, London, Ontario, Canada.

(3) Boisclair, G., Pagé, J. – Guide des sciences expérimentales, observations, mesures, rédaction du rapport de laboratoire. Éditions du renouveau pédagogique Inc., 2e édition, 1998, 199 p.

(4) Idel'cik, I.E. – Memento des pertes de charge. Eyrrolles, éditeur, Paris, 1ère édition en français, 1969, 494 p.

PHOTOS

Photo A : Rotamètre Gilmont

Photo B : Rotamètre Allegro

TABLEAUX

Tableau 1 : Concordance entre les mesures des deux débitmètres de référence

T_{400} (°C)	P_{400} (lb_f/po^2)	Q_{MKS400} (Lpm)	T_{200} (°C)	P_{200} (lb_f/po^2)	Q_{MKS200} (Lpm)	$\Delta Q_{400-200}$ (Lpm)[1]
24,1	0,2	25	25,4	0,05	23,2	2
24,1	0,4	50	25,1	0,2	47,9	2
24,1	0,8	75	24,9	0,35	72,2	3
23,9	1,3	100	24,6	0,7	97,7	2
23,7	1,95	125	24,3	1,2	123,8	1
23,5	2,7	150	24,0	1,7	148,8	1
23,1	3,5	175	23,6	2,2	173,3	2
22,8	4,4	200	23,3	2,8	197,7	2

[1] : valeur arrondie à l'unité

T_{400}, P_{400}, T_{200} et P_{200}: Températures et pressions en amont des débitmètres

Q_{MKS400}, Q_{MKS200} : débit volumique à 0°C et 760 mmHg

Tableau 1 : Concordance entre les mesures des deux débitmètres de référence

T_{400} (°C)	P_{400} (lb_f/po^2)	Q_{MKS400} (Lpm)	T_{200} (°C)	P_{200} (lb_f/po^2)	Q_{MKS200} (Lpm)	$\Delta Q_{400-200}$ (Lpm)[1]
24,1	0,2	25	25,4	0,05	23,2	2
24,1	0,4	50	25,1	0,2	47,9	2
24,1	0,8	75	24,9	0,35	72,2	3
23,9	1,3	100	24,6	0,7	97,7	2
23,7	1,95	125	24,3	1,2	123,8	1
23,5	2,7	150	24,0	1,7	148,8	1
23,1	3,5	175	23,6	2,2	173,3	2
22,8	4,4	200	23,3	2,8	197,7	2

[1] : valeur arrondie à l'unité

T_{400}, P_{400}, T_{200} et P_{200}: Températures et pressions en amont des débitmètres

Q_{MKS400}, Q_{MKS200} débit volumique à 0°C et 760 mmHg

Tableau 2 : Impact de l'augmentation de la température de l'air circulant dans le réseau sur la réponse du débitmètre massique

T_{400} (°C)	P_{400} (lb_f/po^2)	Q_{MKS400} (Lpm)	T_{200} (°C)	P_{200} (lb_f/po^2)	Q_{MKS200} (Lpm)	$\Delta Q_{400-200}$ (Lpm)[1]
24,5	0,3	25	23,9	0,05	23,7	1
24,4	1,0	50	23,7	0,2	47,4	3
24,1	2,1	75	23,5	0,4	72,4	3
23,8	3,5	100	23,3	0,75	98,4	2
23,5	5,1	125	23,1	1,25	123,6	1
23,3	6,8	150	23,1	1,75	149,2	1
23,0	8,6	175	23,0	2,3	174,2	1
22,9	10,5	200	22,9	3,0	198,4	2
23,8	0,3	25	29,2	0,05	24,2	1
23,8	1,05	50	29,7	0,2	48,3	2
23,7	2,2	75	30,4	0,5	74,7	0
23,5	3,6	100	30,9	0,8	101,4	-1
23,3	5,2	125	31,1	1,3	127,9	-3
22,9	7	150	30,4	1,8	153,9	-4
22,6	8,75	175	29,9	2,4	178,7	-4
22,6	10,35	196	30,3	2,9	199,4	-3
23,3	0,35	25	36,3	0,05	23,9	1
23,4	1,1	50	37,3	0,2	49,9	0
23,3	2,25	75	38,7	0,4	76,9	3
23,1	3,7	100	39,2	0,8	104,6	-5
23,0	5,4	125	39,7	1,25	131,9	-7
22,8	7,2	150	39,6	1,8	158,7	-9
22,8	9,0	175	39,5	2,35	184,1	-9
22,6	10,2	191	39,7	2,8	199,4	-8

[1] : valeur arrondie à l'unité

T_{400}, P_{400}, T_{200} et P_{200}: Températures et pressions en amont des débitmètres

Q_{MKS400}, Q_{MKS200} : débit volumique à 0°C et 760 mmHg

Tableau 3 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Gilmont

Q_{MKS400} (Lpm)	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$T_{u(24209)}$ (°C)	$P_{u(24209)}$ (lb_f/po^2)	$Ql_{u(24209)}$ (Lpm)	$Q_{n(24209)}$ (Lpm	$\Delta_{n(24202-24209)}$ (Lpm)
100	23,1	12,35	80	100	22,8	12,05	75	95	5
125	23,4	11,7	100	125	23,0	11,20	100	125	0
150	23,5	12,5	120	150	23,1	12,00	120	150	0
175	23,5	12,3	140	175	23,3	11,65	140	175	0
200	23,4	11,6	165	205	23,3	11,00	165	200	5
225	23,4	12,7	180	225	23,3	11,90	185	230	-5
250	23,4	11,65	210	260	23,3	10,70	215	260	0
275	23,4	12,25	230	285	23,3	11,10	240	295	-10
300	23,4	14,1	245	315	23,3	12,70	250	315	0
325	23,3	12,5	280	350	23,2	11,00	295	360	-10
350	23,2	14,0	300	385	23,2	12,30	310	390	-10
375	23,1	13,1	340	430	23,1	11,10	360	440	-10
400	22,9	13,95	360	465	22,9	11,70	380	470	-5
425	22,8	13,75	400	515	22,8	11,20	440	540	-25
450	22,7	15,15	425	560	22,7	12,40	460	575	-15
478	22,6	16,6	440	595	22,6	13,60	485	620	-25

$T_{u(24202,24209)}$, $P_{u(24202,24209)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202,24209)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202,2409)}$: débit volumique à 0°C, 760 mmHg

Tableau 2 : Impact de l'augmentation de la température de l'air circulant dans le réseau sur la réponse du débitmètre massique

T_{400} (°C)	P_{400} (lb_f/po^2)	Q_{MKS400} (Lpm)	T_{200} (°C)	P_{200} (lb_f/po^2)	Q_{MKS200} (Lpm)	$\Delta Q_{400-200}$ (Lpm)[1]
24,5	0,3	**25**	23,9	0,05	**23,7**	1
24,4	1,0	**50**	23,7	0,2	**47,4**	3
24,1	2,1	**75**	23,5	0,4	**72,4**	3
23,8	3,5	**100**	23,3	0,75	**98,4**	2
23,5	5,1	**125**	23,1	1,25	**123,6**	1
23,3	6,8	**150**	23,1	1,75	**149,2**	1
23,0	8,6	**175**	23,0	2,3	**174,2**	1
22,9	10,5	**200**	22,9	3,0	**198,4**	2
23,8	0,3	**25**	29,2	0,05	**24,2**	1
23,8	1,05	**50**	29,7	0,2	**48,3**	2
23,7	2,2	**75**	30,4	0,5	**74,7**	0
23,5	3,6	**100**	30,9	0,8	**101,4**	-1
23,3	5,2	**125**	31,1	1,3	**127,9**	-3
22,9	7	**150**	30,4	1,8	**153,9**	-4
22,6	8,75	**175**	29,9	2,4	**178,7**	-4
22,6	10,35	**196**	30,3	2,9	**199,4**	-3
23,3	0,35	**25**	36,3	0,05	**23,9**	1
23,4	1,1	**50**	37,3	0,2	**49,9**	0
23,3	2,25	**75**	38,7	0,4	**76,9**	3
23,1	3,7	**100**	39,2	0,8	**104,6**	-5
23,0	5,4	**125**	39,7	1,25	**131,9**	-7
22,8	7,2	**150**	39,6	1,8	**158,7**	-9
22,8	9,0	**175**	39,5	2,35	**184,1**	-9
22,6	10,2	**191**	39,7	2,8	**199,4**	-8

[1] : valeur arrondie à l'unité

T_{400}, P_{400}, T_{200} et P_{200}: Températures et pressions en amont des débitmètres

Q_{MKS400}, Q_{MKS200} : débit volumique à 0°C et 760 mmHg

Tableau 3 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Gilmont

Q_{MKS400} (L.pm)	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (L.pm)	$Q_{n(24202)}$ (L.pm)	$T_{u(24209)}$ (°C)	$P_{u(24209)}$ (lb_f/po^2)	$Ql_{u(24209)}$ (L.pm)	$Q_{n(24209)}$ (L.pm	$\Delta_{n(24202 - 24209)}$ (L.pm)
100	23,1	12,35	80	100	22,8	12,05	75	95	5
125	23,4	11,7	100	125	23,0	11,20	100	125	0
150	23,5	12,5	120	150	23,1	12,00	120	150	0
175	23,5	12,3	140	175	23,3	11,65	140	175	0
200	23,4	11,6	165	205	23,3	11,00	165	200	5
225	23,4	12,7	180	225	23,3	11,90	185	230	-5
250	23,4	11,65	210	260	23,3	10,70	215	260	0
275	23,4	12,25	230	285	23,3	11,10	240	295	-10
300	23,4	14,1	245	315	23,3	12,70	250	315	0
325	23,3	12,5	280	350	23,2	11,00	295	360	-10
350	23,2	14,0	300	385	23,2	12,30	310	390	-10
375	23,1	13,1	340	430	23,1	11,10	360	440	-10
400	22,9	13,95	360	465	22,9	11,70	380	470	-5
425	22,8	13,75	400	515	22,8	11,20	440	540	-25
450	22,7	15,15	425	560	22,7	12,40	460	575	-15
478	22,6	16,6	440	595	22,6	13,60	485	620	-25

$T_{u(24202,24209)}$, $P_{u(24202,24209)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202,24209)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202,24209)}$: débit volumique à 0°C, 760 mmHg

Tableau 4 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Allegro

Q_{MKS400} (Lpm)	$T_{u(58484)}$ (°C)	$P_{u(58484)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(58484)}$ (pi^3/min)	$Q_{n(58484)}$ (Lpm)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{u(54828)}$ (pi^3/min)	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$\Delta_{n(58484-54828)}$ (Lpm)
100	24,7	10,88	3,4	115	24,5	10,65	3,3	115	0
125	24,7	11,15	4,0	140	24,4	11,0	3,9	135	5
150	24,6	9,85	4,8	160	24,3	9,55	4,7	155	5
175	24,4	11,70	5,3	186	24,2	11,40	5,2	180	6
200	24,3	11,0	6,1	210	24,1	10,55	6,0	205	5
225	24,1	12,2	6,6	230	23,9	11,75	6,6	230	0
250	23,9	11,7	7,3	255	23,8	11,05	7,3	250	5
275	23,7	11,15	8,0	275	23,6	10,4	8,0	275	0

$T_{u(58484,54828)}$, $P_{u(58484,54828)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(58484,54828)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(58484,54828)}$: débit volumique à 0°C, 760 mmHg

Tableau 5 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24209)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
100	750	22,4	15	70	100	0
125	750	22,6	15	90	125	0
150	750	22,7	15	110	155	-5
175	750	22,8	15	130	185	-10
200	750	22,8	15	150	210	-10
225	750	22,9	15	170	240	-15
250	750	22,9	15	190	270	-20
275	750	22,7	15	210	295	-20
300	750	22,7	15	230	325	-25
325	750	22,2	15	260	365	-40
350	750	22,4	15	280	395	-45
375	750	22,5	15	310	440	-65
400	750	22,3	15	330	465	-65

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 4 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Allegro

Q_{MKS400} (Lpm)	$T_{u(58484)}$ (°C)	$P_{u(58484)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(58484)}$ (pi^3/min)	$Q_{n(58484)}$ (Lpm)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{u(54828)}$ (pi^3/min)	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$\Delta_{n(58484-54828)}$ (Lpm)
100	24,7	10,88	3,4	115	24,5	10,65	3,3	115	0
125	24,7	11,15	4,0	140	24,4	11,0	3,9	135	5
150	24,6	9,85	4,8	160	24,3	9,55	4,7	155	5
175	24,4	11,70	5,3	186	24,2	11,40	5,2	180	6
200	24,3	11,0	6,1	210	24,1	10,55	6,0	205	5
225	24,1	12,2	6,6	230	23,9	11,75	6,6	230	0
250	23,9	11,7	7,3	255	23,8	11,05	7,3	250	5
275	23,7	11,15	8,0	275	23,6	10,4	8,0	275	0

$T_{u(58484,54828)}$, $P_{u(58484,54828)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(58484,54828)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(58484,54828)}$: débit volumique à 0°C, 760 mmHg

Tableau 5 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24209)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
100	750	22,4	15	70	100	0
125	750	22,6	15	90	125	0
150	750	22,7	15	110	155	-5
175	750	22,8	15	130	185	-10
200	750	22,8	15	150	210	-10
225	750	22,9	15	170	240	-15
250	750	22,9	15	190	270	-20
275	750	22,7	15	210	295	-20
300	750	22,7	15	230	325	-25
325	750	22,2	15	260	365	-40
350	750	22,4	15	280	395	-45
375	750	22,5	15	310	440	-65
400	750	22,3	15	330	465	-65

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 6 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[2]
50	751	21,2	15	1,0	40,1	10
100	751	21,2	15	2,2	88,3	12
150	751	21,1	15	3,4	136,4	14
200	751	21,2	15	4,6	184,6	15
250	751	21,1	15	5,8	232,8	17
300	751	21,2	15	7,0	280,9	19
348	751	21,2	15	8,0	321,0	27

[1] : unités en pi^3/min
[2] : arrondie à l'unité
$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 7 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
99	757	23,5	5	85	100	-1
153	757	23,4	5	140	160	-7
200	757	23,1	5	190	220	-20
277	757	23,0	5	265	305	**-28**
100	757	23,1	10	75	95	5
200	757	23,1	10	160	205	-5
300	757	23,1	10	250	325	**-25**
400	757	22,8	10	360	465	**-65**
100	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	100	0
200	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	205	-5
300	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	310	-10
400	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	455	**-55**
100	757	23,1	20	60	90	10
200	757	23,1	20	130	200	0
300	757	23,0	20	200	305	-5
400	757	22,9	20	290	445	**-45**
100	757	23,3	25	60	100	0
200	757	23,2	25	120	195	5
300	757	23,2	25	190	310	-10
400	757	23,2	25	260	425	**-25**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 6 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[2]
50	751	21,2	15	1,0	40,1	10
100	751	21,2	15	2,2	88,3	12
150	751	21,1	15	3,4	136,4	14
200	751	21,2	15	4,6	184,6	15
250	751	21,1	15	5,8	232,8	**17**
300	751	21,2	15	7,0	280,9	**19**
348	751	21,2	15	8,0	321,0	**27**

[1] : unités en pi^3/min
[2] : arrondie à l'unité
$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 7 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
99	757	23,5	5	85	100	-1
153	757	23,4	5	140	160	-7
200	757	23,1	5	190	220	-20
277	757	23,0	5	265	305	**-28**
100	757	23,1	10	75	95	5
200	757	23,1	10	160	205	-5
300	757	23,1	10	250	325	**-25**
400	757	22,8	10	360	465	**-65**
100	**757**	**23,0**	**15**	**70**	100	0
200	**757**	**23,0**	**15**	**145**	205	-5
300	**757**	**22,9**	**15**	**220**	310	-10
400	**757**	**22,8**	**15**	**320**	455	**-55**
100	757	23,1	20	60	90	10
200	757	23,1	20	130	200	0
300	757	23,0	20	200	305	-5
400	757	22,9	20	290	445	**-45**
100	757	23,3	25	60	100	0
200	757	23,2	25	120	195	5
300	757	23,2	25	190	310	-10
400	757	23,2	25	260	425	**-25**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 8 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[2]
50	751	21,7	5	1,2	39,1	11
100	751	21,5	5	2,8	91,3	9
150	751	21,3	5	4,2	137,0	13
200	751	21,1	5	5,6	182,8	**17**
250	751	21,0	5	7,1	231,8	**18**
282	751	21,0	5	8,0	261,1	**21**
50	751	21,2	10	1,1	40,2	10
100	751	21,1	10	2,4	87,8	12
150	751	21,1	10	3,7	135,3	15
200	751	21,1	10	5,0	182,9	**17**
250	751	21,1	10	6,2	226,8	**23**
300	751	21,1	10	7,6	278,0	**22**
50	751	21,2	15	1,0	40,1	10
100	751	21,2	15	2,2	88,3	12
150	751	21,1	15	3,4	136,4	14
200	751	21,2	15	4,6	184,6	15
250	751	21,1	15	5,8	232,8	**17**
300	751	21,2	15	7,0	280,9	**19**
50	751	21,4	20	1,0	43,4	7
100	751	21,3	20	1,9	82,4	**18**
150	751	21,3	20	3,2	138,8	11
200	751	21,2	20	4,2	182,2	**18**
250	751	21,3	20	5,2	225,6	**24**
300	751	21,2	20	6,3	273,4	**27**
50	752	21,3	25	0,9	41,8	8
100	752	21,3	25	1,8	83,6	**16**
150	752	21,3	25	3,0	139,3	11
200	752	21,3	25	3,8	176,4	**24**
250	752	21,3	25	4,8	222,9	**27**
300	752	21,9	25	5,9	273,7	**26**

[1] : unités en pi^3/min, [2] : arrondie à l'unité

$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 9 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
100	749	10,2	5	80	95	5
200	749	9,4	5	180	210	-10
300	749	9,4	5	285	335	**-35**
400	749	9,5	5	420	495	**-95**
100	753	22,0	5	85	100	0
200	753	21,9	5	185	215	-15
300	753	21,8	5	290	335	**-35**
400	753	21,7	5	440	505	**-105**
100	749	29,9	5	90	100	0
200	749	30,1	5	190	215	-15
300	749	30,1	5	300	340	**-40**
362	749	29,8	5	450	510	**-148**
100	749	36,2	5	90	100	0
200	749	37,9	5	190	215	-15
300	749	37,8	5	305	340	**-40**
400	749	37,3	5	460	515	**-115**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 8 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{a(54828)}$ (°C)	$P_{a(54828)}$ (lb_f-po^{-2})	$Q_{a(54828)}$ (pi^3 $min)^1$	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	Q_{MKS} - $Q_{n(54828)}$ $(Lpm)^2$
50	751	21,7	5	1,2	39,1	11
100	751	21,5	5	2,8	91,3	9
150	751	21,3	5	4,2	137,0	13
200	751	21,1	5	5,6	182,8	**17**
250	751	21,0	5	7,1	231,8	**18**
282	751	21,0	5	8,0	261,1	**21**
50	751	21,2	10	1,1	40,2	10
100	751	21,1	10	2,4	87,8	12
150	751	21,1	10	3,7	135,3	15
200	751	21,1	10	5,0	182,9	**17**
250	751	21,1	10	6,2	226,8	**23**
300	751	21,1	10	7,6	278,0	**22**
50	**751**	**21,2**	**15**	**1,0**	40,1	10
100	**751**	**21,2**	**15**	**2,2**	88,3	12
150	**751**	**21,1**	**15**	**3,4**	136,4	14
200	**751**	**21,2**	**15**	**4,6**	184,6	15
250	**751**	**21,1**	**15**	**5,8**	232,8	**17**
300	**751**	**21,2**	**15**	**7,0**	280,9	**19**
50	751	21,4	20	1,0	43,4	7
100	751	21,3	20	1,9	82,4	**18**
150	751	21,3	20	3,2	138,8	11
200	751	21,2	20	4,2	182,2	**18**
250	751	21,3	20	5,2	225,6	**24**
300	751	21,2	20	6,3	273,4	**27**
50	752	21,3	25	0,9	41,8	8
100	752	21,3	25	1,8	83,6	**16**
150	752	21,3	25	3,0	139,3	11
200	752	21,3	25	3,8	176,4	**24**
250	752	21,3	25	4,8	222,9	**27**
300	752	21,9	25	5,9	273,7	**26**

[1] : unités en pi^3 min, [2] : arrondie à l'unité

$T_{a(54828)}$, $P_{a(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{a(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 9 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(242)(2)}$ (°C)	$P_{u(242)(2)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{u(242)(2)}$ (Lpm)	$Q_{n(242)(2)}$ (Lpm)	Q_{MKS} - $Q_{n(242)(2)}$ (Lpm)
100	749	10,2	5	80	95	5
200	749	9,4	5	180	210	-10
300	749	9,4	5	285	335	**-35**
400	749	9,5	5	420	495	**-95**
100	753	22,0	5	85	100	0
200	753	21,9	5	185	215	-15
300	753	21,8	5	290	335	**-35**
400	753	21,7	5	440	505	**-105**
100	**749**	**29,9**	**5**	**90**	100	0
200	**749**	**30,1**	**5**	**190**	215	-15
300	**749**	**30,1**	**5**	**300**	340	**-40**
362	**749**	**29,8**	**5**	**450**	510	**-148**
100	749	36,2	5	90	100	0
200	749	37,9	5	190	215	-15
300	749	37,8	5	305	340	**-40**
400	749	37,3	5	460	515	**-115**

$T_{u(242)(2)}$, $P_{u(242)(2)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{u(242)(2)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(242)(2)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 10 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[2]
50	750	10,9	5	1,2	39,8	10
100	750	9,1	5	2,7	89,9	10
150	750	7,7	5	4,1	136,9	13
200	750	6,9	5	5,4	180,6	**19**
250	750	7,2	5	7,0	233,9	**16**
289	750	7,3	5	8,0	267,3	**22**
50	751	21,7	5	1,2	39,1	11
100	751	21,5	5	2,8	91,3	9
150	751	21,3	5	4,2	137,0	13
200	751	21,1	5	5,6	182,8	**17**
250	751	21,0	5	7,1	231,8	**18**
282	751	21,0	5	8,0	261,1	**21**
50	750	28,1	5	1,2	38,7	11
100	750	28,6	5	2,8	90,2	10
150	750	28,8	5	4,2	135,2	15
200	750	29,2	5	5,7	183,4	**17**
250	750	29,3	5	7,8	231,7	**18**
279	750	29,4	5	8,0	257,3	**22**
50	750	33,0	5	1,3	41,6	8
100	750	34,5	5	2,9	92,5	8
150	750	35,4	5	4,3	137,0	13
200	750	36,4	5	5,8	184,5	**16**
250	750	36,8	5	7,3	232,0	**18**
275	750	36,9	5	8,0	254,2	**21**

[1] : unités en pi^3/min

[2] : arrondie à l'unité

$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 11 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 10 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(24209)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
100	749	10,4	10	70	90	-10
200	749	9,0	10	160	210	10
300	749	8,4	10	240	315	-15
400	749	8,6	10	350	460	**-60**
100	753	21,9	10	75	95	5
200	753	21,8	10	160	205	-5
300	753	21,8	10	250	325	**-25**
400	753	21,7	10	360	465	**-65**
100	749	30,0	10	75	95	5
200	749	30,0	10	165	210	-10
300	749	29,9	10	255	325	**-25**
362	749	29,8	10	375	475	**-113**
100	749	36,6	10	80	100	0
200	749	37,5	10	165	205	-5
300	749	37,9	10	260	325	**-25**
400	749	37,2	10	380	480	**-80**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 10 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{u(54828)}$ (pi^3 min)	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ $(Lpm)^2$
50	750	10,9	5	1,2	39,8	10
100	750	9,1	5	2,7	89,9	10
150	750	7,7	5	4,1	136,9	13
200	750	6,9	5	5,4	180,6	19
250	750	7,2	5	7,0	233,9	16
289	750	7,3	5	8,0	267,3	22
50	751	21,7	5	1,2	39,1	11
100	751	21,5	5	2,8	91,3	9
150	751	21,3	5	4,2	137,0	13
200	751	21,1	5	5,6	182,8	17
250	751	21,0	5	7,1	231,8	18
282	751	21,0	5	8,0	261,1	21
50	750	28,1	5	1,2	38,7	11
100	750	28,6	5	2,8	90,2	10
150	750	28,8	5	4,2	135,2	15
200	750	29,2	5	5,7	183,4	17
250	750	29,3	5	7,8	231,7	18
279	750	29,4	5	8,0	257,3	22
50	750	33,0	5	1,3	41,6	8
100	750	34,5	5	2,9	92,5	8
150	750	35,4	5	4,3	137,0	13
200	750	36,4	5	5,8	184,5	16
250	750	36,8	5	7,3	232,0	18
275	750	36,9	5	8,0	254,2	21

[1] : unités en pi^3 min

[2] : arrondie à l'unité

$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{u(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 11 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 10 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{u(24202)}$ (Lpm)	$Q_{c(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{c(24202)}$ (Lpm)
100	749	10,4	10	70	90	-10
200	749	9,0	10	160	210	10
300	749	8,4	10	240	315	-15
400	749	8,6	10	350	460	**-60**
100	753	21,9	10	75	95	5
200	753	21,8	10	160	205	-5
300	753	21,8	10	250	325	**-25**
400	753	21,7	10	360	465	**-65**
100	**749**	**30,0**	**10**	**75**	95	5
200	**749**	**30,0**	**10**	**165**	210	-10
300	**749**	**29,9**	**10**	**255**	325	**-25**
362	**749**	**29,8**	**10**	**375**	475	**-113**
100	749	36,6	10	80	100	0
200	749	37,5	10	165	205	-5
300	749	37,9	10	260	325	**-25**
400	749	37,2	10	380	480	**-80**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{u(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{c(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 12 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 10 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[2]
50	750	8,9	10	1,1	41,1	**9**
100	750	8,5	10	2,4	89,7	10
150	750	8,1	10	3,7	138,4	12
200	750	7,8	10	4,9	183,3	**17**
250	750	7,6	10	6,0	224,6	**25**
300	750	7,7	10	7,3	273,2	**27**
50	751	21,2	10	1,1	40,2	10
100	751	21,1	10	2,4	87,8	12
150	751	21,1	10	3,7	135,3	15
200	751	21,1	10	5,0	182,9	**17**
250	751	21,1	10	6,2	226,8	**23**
300	751	21,1	10	7,6	278,0	**22**
50	750	29,0	10	1,1	39,7	10
100	750	29,1	10	2,4	86,6	13
150	750	29,2	10	3,8	137,1	13
200	750	29,4	10	5,0	180,3	**20**
250	750	29,4	10	6,3	227,2	**23**
300	750	29,4	10	7,6	274,0	**26**
50	750	35,7	10	1,1	39,3	11
100	750	36,0	10	2,5	89,2	11
150	750	36,4	10	3,8	135,5	15
200	750	36,9	10	5,1	181,6	**18**
250	750	37,4	10	6,4	227,8	**22**
300	750	37,1	10	7,7	274,2	**26**

[1] : unités en pi^3/min

[2] : arrondie à l'unité

$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 13 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 15 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
100	749	14,3	15	65	95	5
200	749	10,2	15	135	195	5
300	749	8,7	15	215	310	-10
400	749	9,0	15	310	450	**-50**
100	749	22,0	15	70	100	0
200	749	21,9	15	140	200	0
300	749	21,8	15	220	310	-10
400	749	21,7	15	315	445	**-45**
100	749	29,1	15	70	100	0
200	749	29,3	15	145	205	-5
300	749	29,7	15	220	305	-5
400	749	29,2	15	300	445	**-45**
100	749	35,0	15	70	95	5
200	749	36,6	15	150	205	-5
300	749	37,6	15	230	315	-15
400	749	37,5	15	330	455	**-55**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 12 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 10 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[2]
50	750	8,9	10	1,1	41,1	9
100	750	8,5	10	2,4	89,7	10
150	750	8,1	10	3,7	138,4	12
200	750	7,8	10	4,9	183,3	**17**
250	750	7,6	10	6,0	224,6	**25**
300	750	7,7	10	7,3	273,2	**27**
50	751	21,2	10	1,1	40,2	10
100	751	21,1	10	2,4	87,8	12
150	751	21,1	10	3,7	135,3	15
200	751	21,1	10	5,0	182,9	**17**
250	751	21,1	10	6,2	226,8	**23**
300	751	21,1	10	7,6	278,0	**22**
50	**750**	**29,0**	**10**	**1,1**	39,7	10
100	**750**	**29,1**	**10**	**2,4**	86,6	13
150	**750**	**29,2**	**10**	**3,8**	137,1	13
200	**750**	**29,4**	**10**	**5,0**	180,3	**20**
250	**750**	**29,4**	**10**	**6,3**	227,2	**23**
300	**750**	**29,4**	**10**	**7,6**	274,0	**26**
50	750	35,7	10	1,1	39,3	11
100	750	36,0	10	2,5	89,2	11
150	750	36,4	10	3,8	135,5	15
200	750	36,9	10	5,1	181,6	**18**
250	750	37,4	10	6,4	227,8	**22**
300	750	37,1	10	7,7	274,2	**26**

[1] : unités en pi^3 min

[2] : arrondie à l'unité

$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 13 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 15 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
100	749	14,3	15	65	95	5
200	749	10,2	15	135	195	5
300	749	8,7	15	215	310	-10
400	749	9,0	15	310	450	**-50**
100	749	22,0	15	70	100	0
200	749	21,9	15	140	200	0
300	749	21,8	15	220	310	-10
400	749	21,7	15	315	445	**-45**
100	**749**	**28,1**	**15**	**70**	100	0
200	**749**	**29,3**	**15**	**145**	205	-5
300	**749**	**29,7**	**15**	**220**	305	-5
400	**749**	**29,7**	**15**	**320**	445	**-45**
100	749	35,0	15	70	95	5
200	749	36,6	15	150	205	-5
300	749	37,6	15	230	315	-15
400	749	37,5	15	330	455	**-55**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 14 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 15 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[2]
50	750	9,5	15	1,0	40,9	**9**
100	750	8,8	15	2,0	82,0	**18**
150	750	8,1	15	3,4	139,5	11
200	750	7,8	15	4,4	180,7	**19**
250	750	7,6	15	5,5	225,9	**24**
300	750	7,7	15	6,7	275,1	**25**
50	751	21,2	15	1,0	40,1	10
100	751	21,2	15	2,2	88,3	12
150	751	21,1	15	3,4	136,4	14
200	751	21,2	15	4,6	184,6	15
250	751	21,1	15	5,8	232,8	**17**
300	751	21,2	15	7,0	280,9	**19**
50	750	28,8	15	1,0	39,6	10
100	750	29,0	15	2,1	83,1	**17**
150	750	29,1	15	3,4	134,6	15
200	750	29,3	15	4,5	178,1	**22**
250	750	29,4	15	5,7	225,5	**25**
300	750	29,4	15	7,0	276,9	**23**
50	750	35,7	15	1,0	39,2	11
100	750	36,0	15	2,2	86,1	14
150	750	36,5	15	3,5	136,9	13
200	750	36,9	15	4,6	179,8	**20**
250	750	37,0	15	5,8	226,6	**23**
300	750	37,1	15	7,1	277,4	**23**

[1] : unités en pi^3/min

[2] : arrondie à l'unité

$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 15 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 20 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
100	749	10,4	20	60	95	5
200	749	9,6	20	120	190	10
300	749	9,3	20	200	315	-15
371	749	9,2	20	255	400	**-29**
100	753	23,4	20	60	90	10
200	753	22,7	20	130	200	0
300	753	22,2	20	205	315	-15
358	753	21,8	20	245	375	-17
100	749	29,7	20	60	90	10
200	749	30,0	20	130	195	5
300	749	30,1	20	200	300	0
362	749	30,0	20	260	390	**-28**
100	749	35,6	20	60	90	10
200	749	37,0	20	135	200	0
300	749	37,7	20	210	315	-15
400	749	37,5	20	300	445	**-45**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 14 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 15 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3 min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ $(Lpm)^2$
50	750	9,5	15	1,0	40,9	9
100	750	8,8	15	2,0	82,0	**18**
150	750	8,1	15	3,4	139,5	11
200	750	7,8	15	4,4	180,7	**19**
250	750	7,6	15	5,5	225,9	**24**
300	750	7,7	15	6,7	275,1	**25**
50	751	21,2	15	1,0	40,1	10
100	751	21,2	15	2,2	88,3	12
150	751	21,1	15	3,4	136,4	14
200	751	21,2	15	4,6	184,6	15
250	751	21,1	15	5,8	232,8	**17**
300	751	21,2	15	7,0	280,9	**19**
50	**750**	**28,8**	**15**	**1,0**	39,6	10
100	**750**	**29,0**	**15**	**2,1**	83,1	**17**
150	**750**	**29,1**	**15**	**3,4**	134,6	15
200	**750**	**29,3**	**15**	**4,5**	178,1	**22**
250	**750**	**29,4**	**15**	**5,7**	225,5	**25**
300	**750**	**29,4**	**15**	**7,0**	276,9	**23**
50	750	35,7	15	1,0	39,2	11
100	750	36,0	15	2,2	86,1	14
150	750	36,5	15	3,5	136,9	13
200	750	36,9	15	4,6	179,8	**20**
250	750	37,0	15	5,8	226,6	**23**
300	750	37,1	15	7,1	277,4	**23**

[1] : unités en pi^3/ min

[2] : arrondie à l'unité

$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 15 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 20 lb_f/po^2) – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f po^{-2})	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)
100	749	10,4	20	60	95	5
200	749	9,6	20	120	190	10
300	749	9,3	20	200	315	-15
371	749	9,2	20	255	400	**-29**
100	753	23,4	20	60	90	10
200	753	22,7	20	130	200	0
300	753	22,2	20	205	315	-15
358	753	21,8	20	245	375	-17
100	**749**	**29,7**	**20**	**60**	90	10
200	**749**	**30,0**	**20**	**130**	195	5
300	**749**	**30,1**	**20**	**200**	300	0
362	**749**	**30,0**	**20**	**260**	390	**-28**
100	749	35,6	20	60	90	10
200	749	37,0	20	135	200	0
300	749	37,7	20	210	315	-15
400	749	37,5	20	300	445	**-45**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 16 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 20 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[2]
50	750	9,4	20	1,0	44,3	6
100	750	8,8	20	1,9	84,2	**16**
150	750	8,0	20	3,1	137,6	12
200	750	7,7	20	4,0	177,6	**22**
250	750	7,6	20	5,0	222,6	**28**
300	750	7,7	20	6,1	270,9	**29**
50	751	21,4	20	1,0	43,4	7
100	751	21,3	20	1,9	82,4	**18**
150	751	21,3	20	3,2	138,8	11
200	751	21,2	20	4,2	182,2	**18**
250	751	21,3	20	5,2	225,6	**24**
300	751	21,2	20	6,3	273,4	**27**
50	750	28,9	20	1,0	42,8	7
100	750	28,9	20	2,0	85,6	14
150	750	29,1	20	3,2	137,0	13
200	750	29,3	20	4,2	179,7	**20**
250	750	29,3	20	5,3	226,8	**23**
300	750	29,3	20	6,4	273,9	**26**
50	750	35,8	20	1,0	42,3	8
100	750	35,9	20	2,0	84,7	15
150	750	36,5	20	3,2	135,3	15
200	750	36,9	20	4,2	177,5	**23**
250	750	37,0	20	5,3	224,0	**26**
300	750	37,0	20	6,4	270,4	**30**

[1] : unités en pi^3/min

[2] : arrondie à l'unité

$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 17 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$ (Lpm)
100	752	21,4	0,5	100	101	-1	0
150	752	21,3	0,7	160	163	-13	-10
200	752	21,3	1,0	210	215	-16	-10
250	752	21,4	1,3	270	280	-30	-20
300	752	21,1	1,8	335	353	-53	-35
350	752	21,0	2,3	400	428	-78	-50
400	752	21,0	3,0	480	525	-125	-80
414	752	20,9	3,2	500	550	-136	-86

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 18 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min) [Lpm]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[1]	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm)[1]
50	752	22,4	0,1	1,4 [40]	39,5	11	10
100	752	22,0	0,1	3,2 [91]	90,3	10	9
150	752	21,7	0,2	4,8 [136]	136,0	14	14
200	752	21,5	0,2	6,6 [187]	187,1	13	13
244	752	21,3	0,2	8,0 [227]	226,8	17	17

[1] : arrondie à l'unité
$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 16 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pressions variables (P_u = 20 lb_f/po^2) – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min)[1]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[2]
50	750	9,4	20	1,0	44,3	6
100	750	8,8	20	1,9	84,2	16
150	750	8,0	20	3,1	137,6	12
200	750	7,7	20	4,0	177,6	22
250	750	7,6	20	5,0	222,6	28
300	750	7,7	20	6,1	270,9	29
50	751	21,4	20	1,0	43,4	7
100	751	21,3	20	1,9	82,4	18
150	751	21,3	20	3,2	138,8	11
200	751	21,2	20	4,2	182,2	18
250	751	21,3	20	5,2	225,6	24
300	751	21,2	20	6,3	273,4	27
50	750	28,9	20	1,0	42,8	7
100	750	28,9	20	2,0	85,6	14
150	750	29,1	20	3,2	137,0	13
200	750	29,3	20	4,2	179,7	20
250	750	29,3	20	5,3	226,8	23
300	750	29,3	20	6,4	273,9	26
50	750	35,8	20	1,0	42,3	8
100	750	35,9	20	2,0	84,7	15
150	750	36,5	20	3,2	135,3	15
200	750	36,9	20	4,2	177,5	23
250	750	37,0	20	5,3	224,0	26
300	750	37,0	20	6,4	270,4	30

[1] : unités en pi^3/min

[2] : arrondie à l'unité

$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre

$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre

$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 17 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Gilmont

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg	$T_{u(24202)}$ (°C)	$P_{u(24202)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$ (Lpm)
100	752	21,4	0,5	100	101	-1	0
150	752	21,3	0,7	160	163	-13	-10
200	752	21,3	1,0	210	215	-16	-10
250	752	21,4	1,3	270	280	**-30**	-20
300	752	21,1	1,8	335	353	**-53**	**-35**
350	752	21,0	2,3	400	428	**-78**	**-50**
400	752	21,0	3,0	480	525	**-125**	**-80**
414	752	20,9	3,2	500	550	**-136**	**-86**

$T_{u(24202)}$, $P_{u(24202)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(24202)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(24202)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg
Q_{MKS} : débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 18 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Allegro

Q_{MKS} (Lpm)	P_{bar} (mmHg)	$T_{u(54828)}$ (°C)	$P_{u(54828)}$ (lb_f/po^2)	$Q_{lu(54828)}$ (pi^3/min) [Lpm]	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm) [1]	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm) [1]
50	752	22,4	0,1	1,4 [40]	39,5	11	10
100	752	22,0	0,1	3,2 [91]	90,3	10	9
150	752	21,7	0,2	4,8 [136]	136,0	14	14
200	752	21,5	0,2	6,6 [187]	187,1	13	13
244	752	21,3	0,2	8,0 [227]	226,8	**17**	**17**

[1] : arrondie à l'unité
$T_{u(54828)}$, $P_{u(54828)}$: température et pression en amont du rotamètre
$Q_{lu(54828)}$: débit volumique lu au rotamètre
$Q_{n(54828)}$: débit volumique équivalent à 21°C, 760 mmHg

Tableau 19 : Écart entre la lecture affichée au rotamètre et le débit de référence – Rotamètre Gilmont

Température moyenne de référence	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$ (Lpm)
		$P_{u(24202)} =$ 5 lb_f/po^2	$P_{u(24202)} =$ 10 lb_f/po^2	$P_{u(24202)} =$ 15 lb_f/po^2	$P_{u(24202)} =$ 20 lb_f/po^2
(10 ± 2) °C	100	20	**30**	**35**	**40**
	200	20	**40**	**65**	**80**
	300	15	**60**	**85**	**100**
	400	-20	**50**	**90**	**116**[2]
(20 ± 2) °C	100	15	**25**	**30**	**40**
	200	15	**40**	**60**	**70**
	300	10	**50**	**80**	**95**
	400	**-40**	**40**	**80**	**113**[3]
(30 ± 2) °C	100	10	25	30	40
	200	10	65	55	70
	300	0	45	80	100
	400	-28[1]	-13[1]	80	102[1]
(35 ± 2) °C	100	10	20	**30**	**40**
	200	10	**35**	**50**	**65**
	300	-5	**40**	**80**	**90**
	400	**-60**	20	**80**	**100**

[1] : calculé à partir d'un débit de référence de 362 Lpm
[2] : calculé à partir d'un débit de référence de 371 Lpm
[3] : calculé à partir d'un débit de référence de 358 Lpm

Tableau 20 : Écart entre la lecture affichée au rotamètre et le débit de référence – Rotamètre Allegro

Température moyenne de référence	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm)
		$P_{u(54828)} = 5$ lb_f/po^2	$P_{u(54828)} = 10$ lb_f/po^2	$P_{u(54828)} = 15$ lb_f/po^2	$P_{u(54828)} = 20$ lb_f/po^2
(10 ± 2) °C	50	**21**	**26**	**30**	**32**
	100	**35**	**49**	**61**	**66**
	150	**52**	**71**	**84**	**97**
	200	**71**	**95**	**114**	**128**
	250	**82**	**121**	**143**	**160**
	300	**97**[1]	**144**	**169**	**240**
(20 ± 2) °C	50	**20**	**26**	**30**	**32**
	100	**31**	**47**	**54**	**65**
	150	**47**	**69**	**82**	**91**
	200	**62**	**90**	**108**	**122**
	250	**76**	**86**	**134**	**154**
	300	**85**[2]	**133**	**160**	**184**
(30 ± 2) °C	50	**20**	**26**	**30**	**31**
	100	**30**	**47**	**57**	**63**
	150	**45**	**66**	**81**	**90**
	200	**58**	**89**	**109**	**121**
	250	**71**	**110**	**134**	**151**
	300	**80**[3]	**131**	**159**	**180**
(35 ± 2) °C	50	**17**	**25**	**30**	**31**
	100	**27**	**44**	**55**	**62**
	150	**42**	**65**	**78**	**189**
	200	**54**	**85**	**106**	**120**
	250	**66**	**106**	**131**	**149**
	300	**73**[4]	**127**	**154**	**179**

[1] : calculé à partir d'un débit de référence de 289 Lpm
[2] : calculé à partir d'un débit de référence de 282 Lpm
[3] : calculé à partir d'un débit de référence de 279 Lpm
[4] : calculé à partir d'un débit de référence de 275 Lpm

Tableau 19 : Écart entre la lecture affichée au rotamètre et le débit de référence – Rotamètre Gilmont

Température moyenne de référence	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	Q_{MKS} $Q_{lu(24202)}$ (Lpm)	Q_{MKS} $Q_{lu(24202)}$ (Lpm)
		$P_{u(24202)}$ = 5 lb_f/po^2	$P_{u(24202)}$ = 10 lb_f/po^2	$P_{u(24202)}$ = 15 lb_f/po^2	$P_{u(24202)}$ = 20 lb_f/po^2
(10 ± 2) °C	100	20	30	35	40
	200	20	40	65	80
	300	15	60	85	100
	400	-20	50	90	116[2]
(20 ± 2) °C	100	15	25	30	40
	200	15	40	60	70
	300	10	50	80	95
	400	-40	40	80	113[3]
(30 ± 2) °C	100	10	25	30	40
	200	10	65	55	70
	300	0	45	80	100
	400	-88[1]	-13[1]	80	102[1]
(35 ± 2) °C	100	10	20	30	40
	200	10	35	50	65
	300	-5	40	80	90
	400	-60	20	80	100

[1] : calculé à partir d'un débit de référence de 362 Lpm
[2] : calculé à partir d'un débit de référence de 371 Lpm
[3] : calculé à partir d'un débit de référence de 358 Lpm

Tableau 20 : Écart entre la lecture affichée au rotamètre et le débit de référence – Rotamètre Allegro

Température moyenne de référence	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm)	$Q_{MKS} - Q_{lu(54828)}$ (Lpm)
		$P_{lu(54828)} = 5$ lb$_f$/po^2	$P_{lu(54828)} = 10$ lb$_f$/po^2	$P_{lu(54828)} = 15$ lb$_f$/po^2	$P_{lu(54828)} = 20$ lb$_f$/po^2
(10 ± 2) °C	50	21	26	30	32
	100	35	49	61	66
	150	52	71	84	97
	200	71	95	114	128
	250	82	121	143	160
	300	97[1]	144	169	240
(20 ± 2) °C	50	20	26	30	32
	100	31	47	54	65
	150	47	69	82	91
	200	62	90	108	122
	250	76	86	134	154
	300	85[2]	133	160	184
(30 ± 2) °C	50	20	26	30	31
	100	30	47	57	63
	150	45	66	81	90
	200	58	89	109	121
	250	71	110	134	151
	300	80[3]	131	158	180
(35 ± 2) °C	50	17	25	30	31
	100	27	44	55	62
	150	42	65	78	189
	200	54	85	106	120
	250	66	106	131	149
	300	73[4]	127	154	179

[1] : calculé à partir d'un débit de référence de 289 Lpm
[2] : calculé à partir d'un débit de référence de 282 Lpm
[3] : calculé à partir d'un débit de référence de 279 Lpm
[4] : calculé à partir d'un débit de référence de 275 Lpm

Tableau 21 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 5 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{u(24202)} = 5$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	100	95	90	5	10
	200	210	205	-10	-5
	300	335	330	**-35**	**-30**
	400	495	485	**-95**	**-85**
(20 ± 2) °C	100	100	100	0	0
	200	215	215	-15	-15
	300	335	335	**-35**	**-35**
	400	505	510	**-105**	**-110**
(30 ± 2) °C	100	100	105	0	-5
	200	215	220	-15	-20
	300	340	345	**-40**	**-45**
	362	510	520	**-148**	**-158**
(35 ± 2) °C	100	100	105	0	-5
	200	215	220	-15	-20
	300	340	350	**-40**	**-50**
	400	515	530	**-115**	**-130**

Tableau 22 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 5 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{u(54828)} = 5$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[1]	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	50	39,8	39,1	10	11
	100	89,9	88,1	10	12
	150	136,9	133,7	13	**16**
	200	180,6	176,1	**19**	**24**
	250	233,9	228,3	**16**	**22**
	289	267,3	261,0	**22**	**28**
(20 ± 2) °C	50	39,1	39,2	11	11
	100	91,3	91,4	9	9
	150	137,0	137,1	13	13
	200	182,8	182,8	**17**	**17**
	250	231,8	231,7	**18**	**18**
	282	261,1	261,1	**21**	**21**
(30 ± 2) °C	50	[illegible]	[illegible]	11	11
	100	[illegible]	[illegible]	10	9
	150	[illegible]	[illegible]	15	13
	200	[illegible]	[illegible]	**17**	14
	250	[illegible]	[illegible]	**18**	15
	279	[illegible]	[illegible]	22	**18**
(35 ± 2) °C	50	41,6	42,4	8	8
	100	92,5	94,6	8	5
	150	137,0	140,3	13	10
	200	184,5	189,2	**16**	11
	250	232,0	238,1	**18**	12
	275	254,2	261,0	**21**	14

[1] : arrondie à l'unité

Tableau 21 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 5 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{a(24202)} = 5$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{a(24202)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{a(24202)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	100	95	90	5	10
	200	210	205	-10	-5
	300	335	330	**-35**	**-30**
	400	495	485	**-95**	**-85**
(20 ± 2) °C	100	100	100	0	0
	200	215	215	-15	-15
	300	335	335	**-35**	**-35**
	400	505	510	**-105**	**-110**
(30 ± 2) °C	**100**	**100**	**105**	0	-5
	200	**215**	**220**	-15	-20
	300	**340**	**345**	**-40**	**-45**
	362	**510**	**520**	**-148**	**-158**
(35 ± 2) °C	100	100	105	0	-5
	200	215	220	-15	-20
	300	340	350	**-40**	**-50**
	400	515	530	**-115**	**-130**

Tableau 22 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 5 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{ti(54828)} = 5$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{ti(54828)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{ti(54828)}$ (Lpm)[1]	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	50	39,8	39,1	10	11
	100	89,9	88,1	10	12
	150	136,9	133,7	13	**16**
	200	180,6	176,1	**19**	**24**
	250	233,9	228,3	**16**	**22**
	289	267,3	261,0	**22**	**28**
(20 ± 2) °C	50	39,1	39,2	11	11
	100	91,3	91,4	9	9
	150	137,0	137,1	13	13
	200	182,8	182,8	**17**	**17**
	250	231,8	231,7	**18**	**18**
	282	261,1	261,1	**21**	**21**
(30 ± 2) °C	**50**	**38,7**	**39,1**	11	11
	100	**90,2**	**91,3**	10	9
	150	**135,2**	**137,0**	15	13
	200	**183,4**	**185,9**	**17**	14
	250	**231,7**	**234,9**	**18**	15
	279	**257,3**	**261,0**	**22**	**18**
(35 ± 2) °C	50	41,6	42,4	8	8
	100	92,5	94,6	8	5
	150	137,0	140,3	13	10
	200	184,5	189,2	**16**	11
	250	232,9	238,1	**18**	12
	275	254,2	261,0	**21**	14

[1] : arrondie à l'unité

Tableau 23 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 10 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{u(24202)} = 10$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	100	90	90	-10	10
	200	210	205	10	-5
	300	315	310	-15	-10
	400	460	450	**-60**	**-50**
(20 ± 2) °C	100	95	95	5	5
	200	205	205	-5	-5
	300	325	325	**-25**	**-25**
	400	465	465	**-65**	**-65**
(30 ± 2) °C	100	95	95	5	5
	200	210	215	-10	-15
	300	325	330	**-25**	**-30**
	362	475	485	**-113**	**-123**
(35 ± 2) °C	100	100	105	0	-5
	200	205	215	-5	-15
	300	325	335	**-25**	**-35**
	400	480	490	**-80**	**-90**

Tableau 24 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 10 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{u(54828)} = 10$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[1]	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	50	41,1	40,2	9	10
	100	89,7	87,7	10	12
	150	138,4	135,3	12	15
	200	183,3	179,2	**17**	**21**
	250	224,6	219,4	**25**	**31**
	300	273,2	266,9	**27**	**33**
(20 ± 2) °C	50	40,2	40,2	10	10
	100	87,8	87,8	12	12
	150	135,3	135,3	15	15
	200	182,9	182,9	**17**	**17**
	250	226,8	226,8	**23**	**23**
	300	278,0	278,0	**22**	**22**
(30 ± 2) °C	50	39,7	40,2	10	10
	100	86,6	87,7	13	12
	150	137,1	138,9	13	11
	200	180,3	182,8	**20**	**17**
	250	227,2	230,3	**23**	**20**
	300	274,0	277,9	**26**	**22**
(35 ± 2) °C	50	39,3	40,2	11	10
	100	89,2	91,4	11	9
	150	135,5	138,9	15	11
	200	181,6	186,5	**18**	14
	250	227,8	234,0	**22**	**16**
	300	274,2	281,5	**26**	**19**

[1] : arrondie à l'unité

Tableau 23 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 10 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{a(24202)} = 10$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{a(24202)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{a(24202)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	100	90	90	-10	10
	200	210	205	10	-5
	300	315	310	-15	-10
	400	460	450	**-60**	**-50**
(20 ± 2) °C	100	95	95	5	5
	200	205	205	-5	-5
	300	325	325	**-25**	**-25**
	400	465	465	**-65**	**-65**
(30 ± 2) °C	**100**	**95**	**95**	5	5
	200	**210**	**215**	-10	-15
	300	**325**	**330**	**-25**	**-30**
	362	**475**	**485**	**-113**	**-123**
(35 ± 2) °C	100	100	105	0	-5
	200	205	215	-5	-15
	300	325	335	**-25**	**-35**
	400	480	490	**-80**	**-90**

Tableau 24 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 10 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{(548\,28)} = 10$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{SRS} (Lpm)	$Q_{(548\,28)}$ (Lpm)		$Q_{SRS} - Q_{(548\,28)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	50	41,1	40,2	9	10
	100	89,7	87,7	10	12
	150	138,4	135,3	12	15
	200	183,3	179,2	17	21
	250	224,6	219,4	25	31
	300	273,2	266,9	27	33
(20 ± 2) °C	50	40,2	40,2	10	10
	100	87,8	87,8	12	12
	150	135,3	135,3	15	15
	200	182,9	182,9	17	17
	250	226,8	226,8	23	23
	300	278,0	278,0	22	22
(30 ± 2) °C	50	39,7	40,2	10	10
	100	86,6	87,7	13	12
	150	137,1	138,9	13	11
	200	180,3	182,8	20	17
	250	227,2	230,3	23	20
	300	274,0	277,9	26	22
(35 ± 2) °C	50	39,3	40,2	11	10
	100	89,2	91,4	11	9
	150	135,5	138,9	15	11
	200	181,6	186,5	18	14
	250	227,8	234,0	22	16
	300	274,2	281,3	26	19

[1] : arrondie à l'unité

Tableau 25 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 15 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{u(24202)} = 15$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{n(24209)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	100	95	90	5	10
	200	195	190	5	10
	300	310	305	-10	-5
	400	450	440	**-50**	**-40**
(20 ± 2) °C	100	100	100	0	0
	200	200	200	0	0
	300	310	310	-10	-10
	400	445	445	**-45**	**-45**
(30 ± 2) °C	100	100	100	0	0
	200	205	205	-5	-5
	300	305	310	-5	-10
	400	445	455	**-45**	**-55**
(35 ± 2) °C	100	95	100	5	0
	200	205	210	-5	-10
	300	315	325	-15	**-25**
	400	455	465	**-55**	**-65**

Tableau 26 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 15 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{u(54828)} = 15$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[1]	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	50	40,9	40,1	9	10
	100	82,0	80,2	**18**	**20**
	150	139,5	136,4	11	14
	200	180,7	176,5	**19**	**24**
	250	225,9	220,7	**24**	**29**
	300	275,1	268,8	**24**	**31**
(20 ± 2) °C	50	40,1	40,1	10	10
	100	88,3	88,3	12	12
	150	136,4	136,4	14	14
	200	184,6	184,6	15	15
	250	232,8	232,8	**17**	**17**
	300	280,9	280,9	**19**	**19**
(30 ± 2) °C	50	39,6	40,1	10	10
	100	83,1	84,2	**17**	**16**
	150	134,6	136,4	15	14
	200	179,1	180,5	**22**	**20**
	250	225,5	228,7	**25**	**21**
	300	276,9	280,8	**23**	**19**
(35 ± 2) °C	50	39,2	40,1	11	10
	100	86,1	88,3	14	12
	150	136,9	140,4	13	10
	200	179,8	184,5	**20**	**16**
	250	226,6	232,7	**23**	**17**
	300	277,4	284,8	**23**	15

[1] : arrondie à l'unité

Tableau 25 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 15 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{(24202)} = 15$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{(24209)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{(24202)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	100	95	90	5	10
	200	195	190	5	10
	300	310	305	-10	-5
	400	450	440	**-50**	**-40**
(20 ± 2) °C	100	100	100	0	0
	200	200	200	0	0
	300	310	310	-10	-10
	400	445	445	**-45**	**-45**
(30 ± 2) °C	**100**	**100**	**100**	0	0
	200	**205**	**205**	-5	-5
	300	**305**	**310**	-5	-10
	400	**445**	**455**	**-45**	**-55**
(35 ± 2) °C	100	95	100	5	0
	200	205	210	-5	-10
	300	315	325	-15	**-25**
	400	455	465	**-55**	**-65**

Tableau 26 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 15 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{a(54828)} = 15$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{a(54828)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{a(54828)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	50	40,9	40,1	9	10
	100	82,0	80,2	**18**	**20**
	150	139,5	136,4	11	14
	200	180,7	176,5	**19**	**24**
	250	225,9	220,7	**24**	**29**
	300	275,1	268,8	**24**	**31**
(20 ± 2) °C	50	40,1	40,1	10	10
	100	88,3	88,3	12	12
	150	136,4	136,4	14	14
	200	184,6	184,6	15	15
	250	232,8	232,8	**17**	**17**
	300	280,9	280,9	**19**	**19**
(30 ± 2) °C	50	39,6	40,1	10	10
	100	83,1	84,2	**17**	**16**
	150	134,6	136,4	15	14
	200	178,1	180,5	**22**	**20**
	250	225,5	228,7	**25**	**21**
	300	276,9	280,8	**23**	**19**
(35 ± 2) °C	50	39,2	40,1	11	10
	100	86,1	88,3	14	12
	150	136,9	140,4	13	10
	200	179,8	184,5	**20**	**16**
	250	226,6	232,7	**23**	**17**
	300	277,4	284,8	**23**	**15**

suivante à l'annexe

Tableau 27 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 20 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{u(24202)} = 20$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{n(24202)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{n(24202)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	100	95	90	5	10
	200	190	185	10	15
	300	315	305	-15	-5
	371	400	390	**-29**	**-19**
(20 ± 2) °C	100	90	90	10	10
	200	200	200	0	0
	300	315	315	-15	-15
	358	375	375	-17	-17
(30 ± 2) °C	100	90	90	10	10
	200	195	200	5	0
	300	300	305	0	-5
	362	390	400	**-28**	**-38**
(35 ± 2) °C	100	90	90	10	10
	200	200	205	0	-5
	300	315	320	-15	-20
	400	445	460	**-45**	**-60**

Tableau 28 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 20 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{u(54828)} = 20$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{n(54828)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{n(54828)}$ (Lpm)[1]	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	50	44,3	43,4	6	7
	100	84,2	82,4	**16**	**18**
	150	137,6	134,5	12	**16**
	200	177,6	173,5	**22**	**27**
	250	222,6	216,9	**28**	**33**
	300	270,9	264,6	**29**	**35**
(20 ± 2) °C	50	43,4	43,4	7	7
	100	82,4	82,5	**18**	**18**
	150	138,8	138,9	11	11
	200	182,2	182,3	**18**	**18**
	250	225,6	225,7	**24**	**24**
	300	273,4	273,4	**27**	**27**
(30 ± 2) °C	50	[illegible]	[illegible]	7	7
	100	[illegible]	[illegible]	14	13
	150	[illegible]	[illegible]	13	11
	200	[illegible]	[illegible]	**20**	**18**
	250	[illegible]	[illegible]	**23**	**20**
	300	[illegible]	[illegible]	**26**	**22**
(35 ± 2) °C	50	42,3	43,4	8	7
	100	84,7	86,8	15	13
	150	135,3	138,8	15	11
	200	177,5	182,2	**23**	**18**
	250	224,0	229, 9	**26**	**20**
	300	270,4	277,7	**30**	**22**

[1] : arrondie à l'unité

Tableau 27 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 20 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{ti(24202)} = 20$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{ti(24202)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{ti(24202)}$ (Lpm)	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	100	95	90	5	10
	200	190	185	10	15
	300	315	305	-15	-5
	371	400	390	**-29**	**-19**
(20 ± 2) °C	100	90	90	10	10
	200	200	200	0	0
	300	315	315	-15	-15
	358	375	375	-17	-17
(30 ± 2) °C	**100**	**90**	**90**	10	10
	200	**195**	**200**	5	0
	300	**300**	**305**	0	-5
	362	**390**	**400**	**-28**	**-38**
(35 ± 2) °C	100	90	90	10	10
	200	200	205	0	-5
	300	315	320	-15	-20
	401	445	460	**-45**	**-60**

Tableau 28 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 20 lb_f/po^2

Température moyenne de référence à $P_{a(54828)} = 20$ lb_f/po^2	Débit de référence Q_{MKS} (Lpm)	$Q_{a(54828)}$ (Lpm)		$Q_{MKS} - Q_{a(54828)}$ (Lpm)[1]	
		Température incluse	Température non incluse	Température incluse	Température non incluse
(10 ± 2) °C	50	44,3	43,4	6	7
	100	84,2	82,4	16	18
	150	137,6	134,5	12	16
	200	177,6	173,5	22	27
	250	222,6	216,9	28	33
	300	270,9	264,6	29	35
(20 ± 2) °C	50	43,4	43,4	7	7
	100	82,4	82,5	18	18
	150	138,8	138,9	11	11
	200	182,2	182,3	18	18
	250	225,6	225,7	24	24
	300	273,4	273,4	27	27
(30 ± 2) °C	50	42,8	43,4	7	7
	100	85,6	86,8	14	13
	150	137,0	138,8	13	11
	200	179,7	182,2	20	18
	250	226,8	229,9	23	20
	300	273,9	277,7	26	22
(35 ± 2) °C	50	42,3	43,4	8	7
	100	84,7	86,8	15	13
	150	135,3	138,8	15	11
	200	177,5	182,2	23	18
	250	224,1	229,9	26	20
	300	270,4	277,7	30	22

[1] arrondie à l'unité

FIGURES

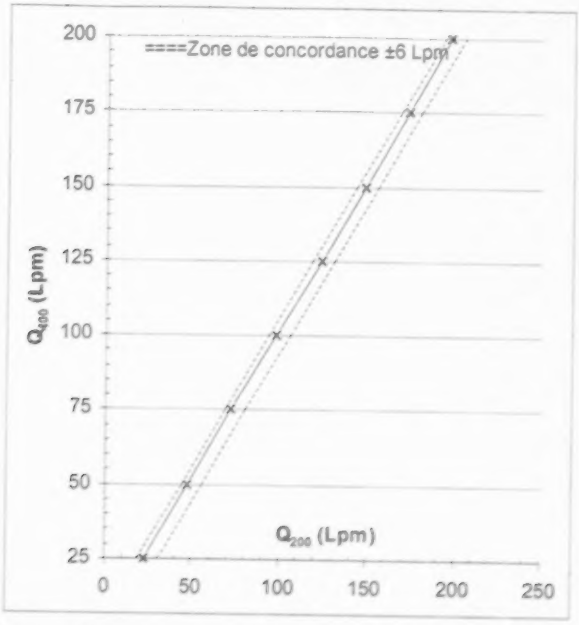


Figure 1 : Concordance entre les mesures des deux débitmètres de référence

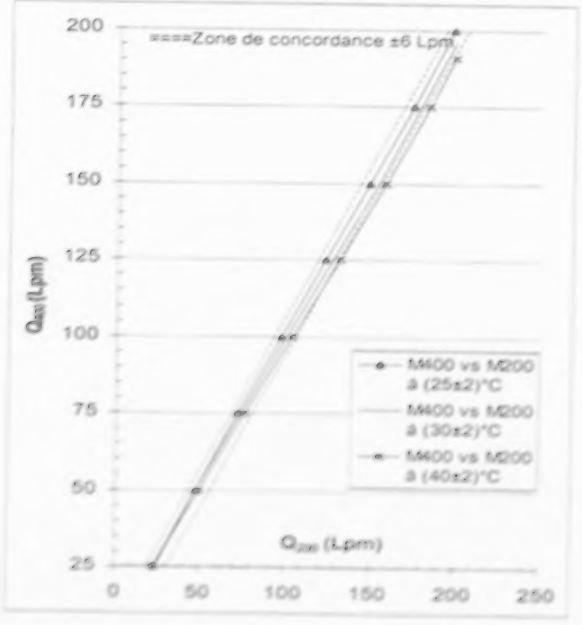


Figure 2 : Impact de l'augmentation de la température de l'air circulant dans le réseau sur la réponse du débitmètre massique

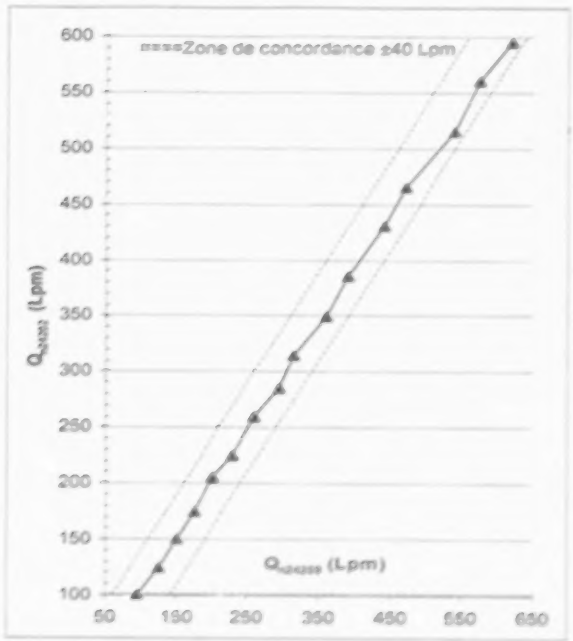


Figure 3 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Gilmont

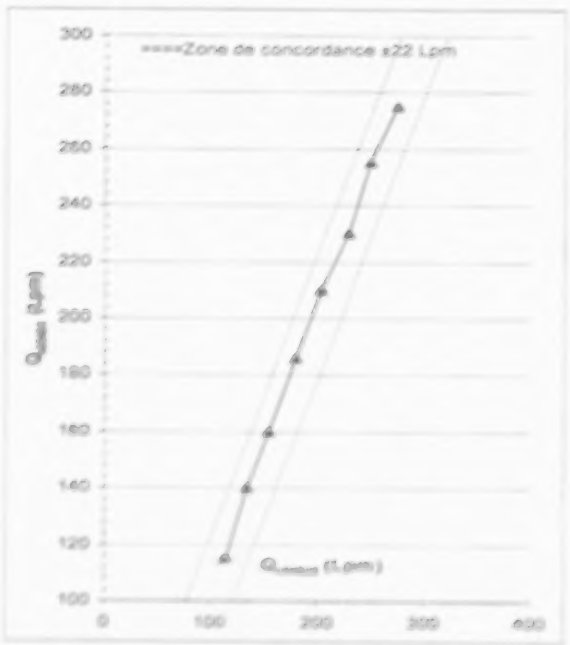


Figure 4 : Vérification de la réponse des rotamètres de marque Allegro

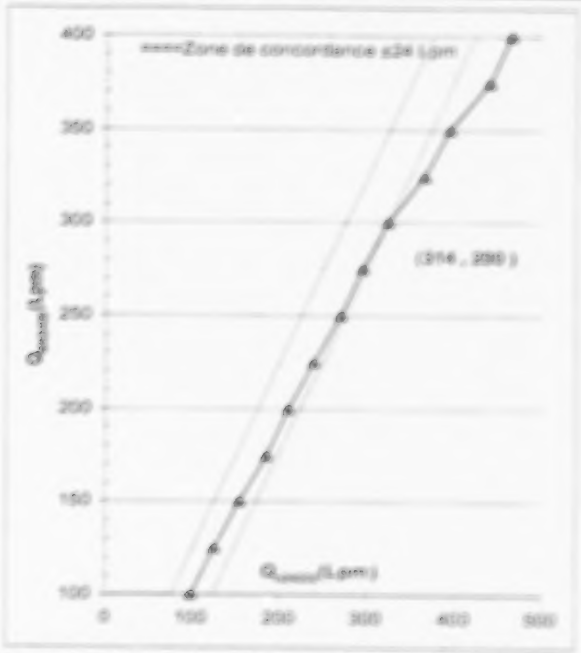


Figure 5 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Gilmont

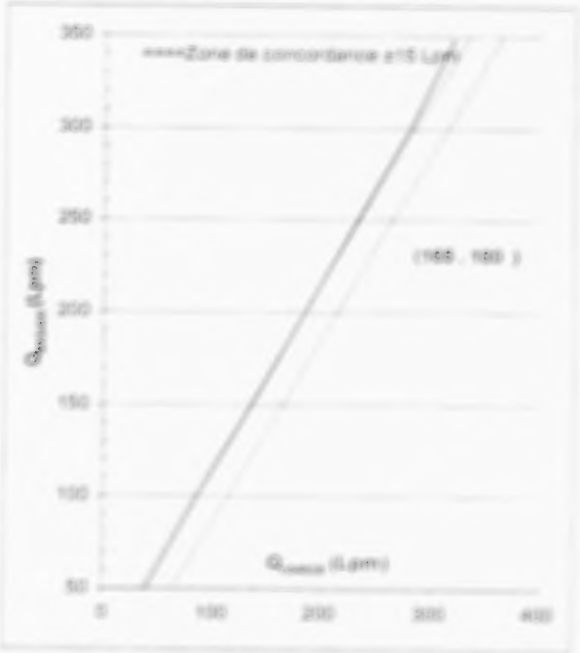


Figure 6 : Vérification des débits : écoulement à température et à pression constantes – Rotamètre Allegro

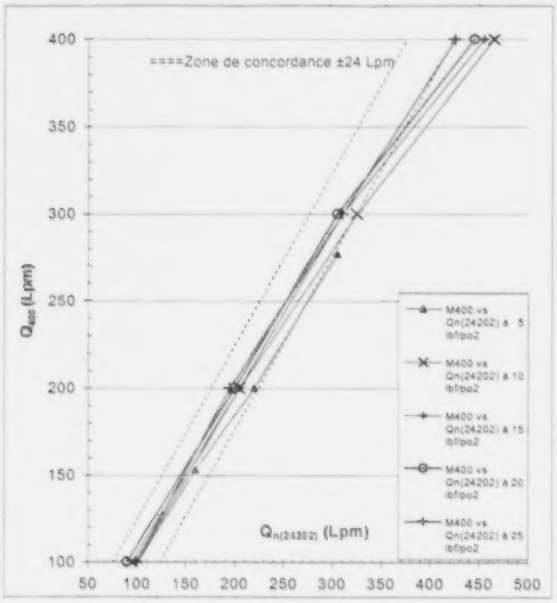


Figure 7 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Gilmont

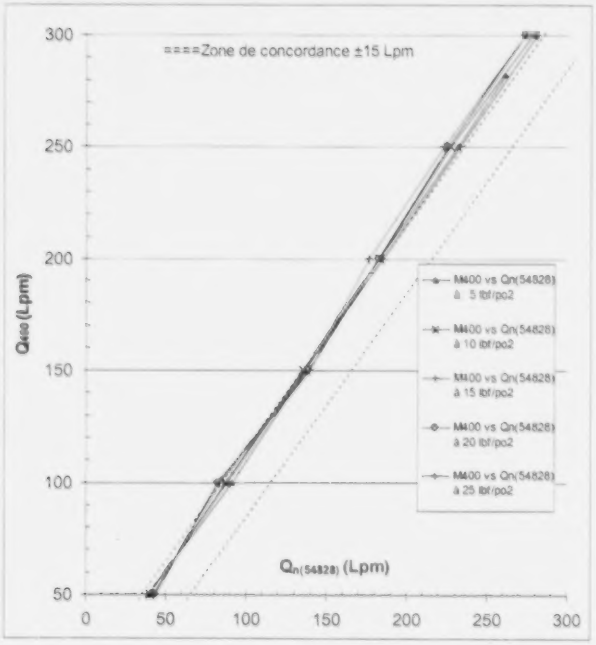


Figure 8 : Vérification des débits : écoulement à température constante et à pressions variables – Rotamètre Allegro

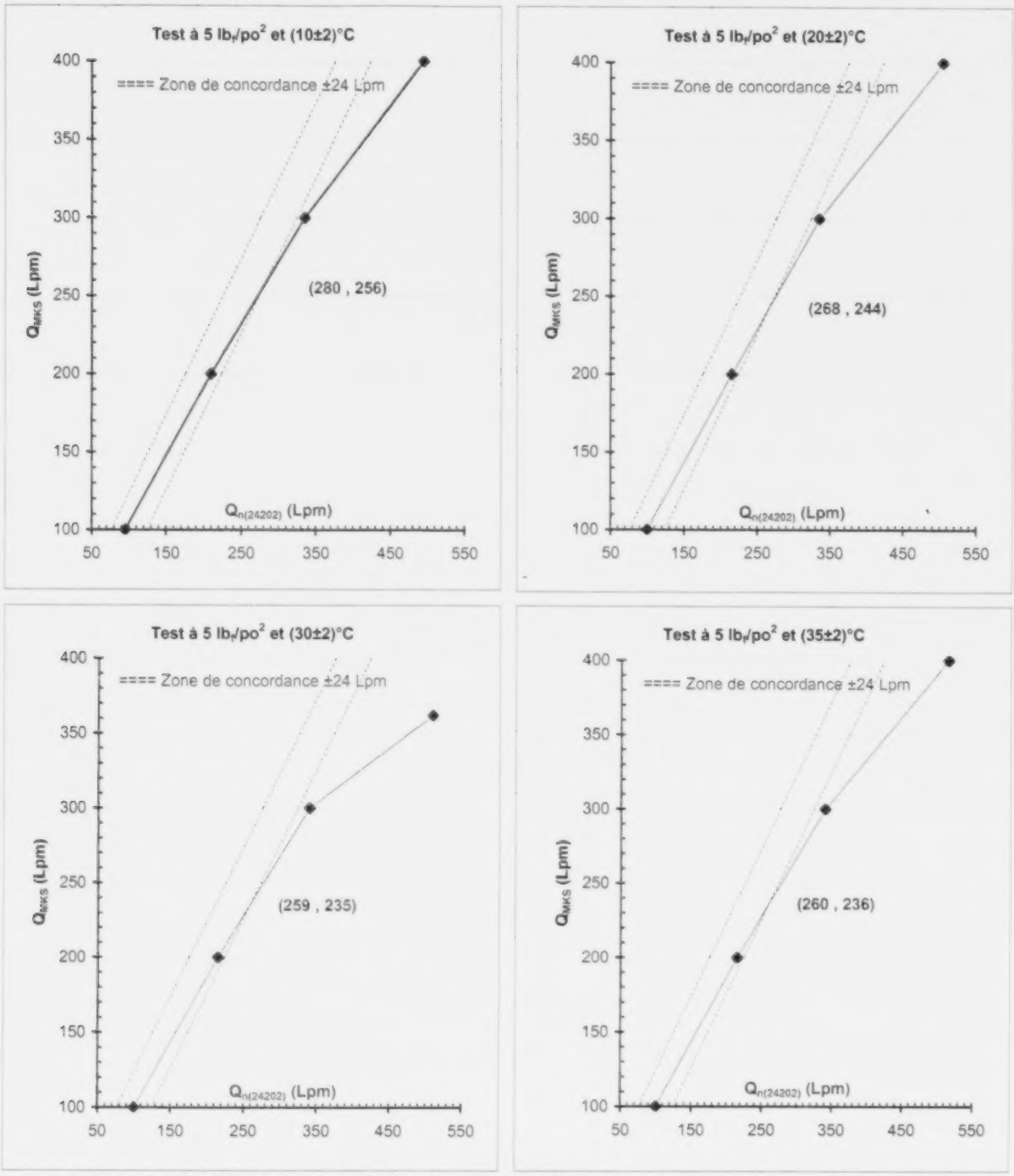


Figure 9 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po_2) – Rotamètre Gilmont

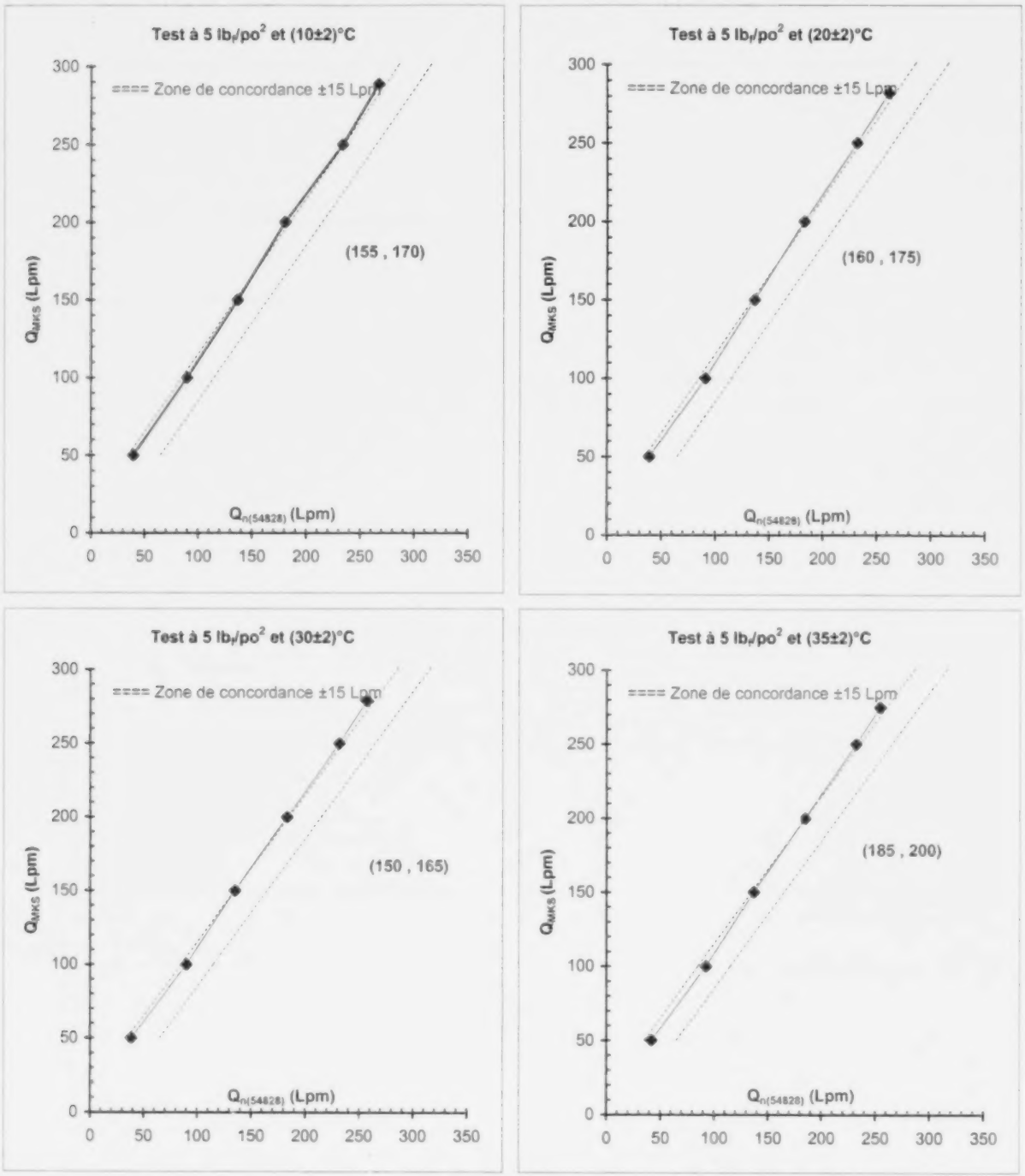


Figure 10 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 5 lb_f/po_2) – Rotamètre Allegro

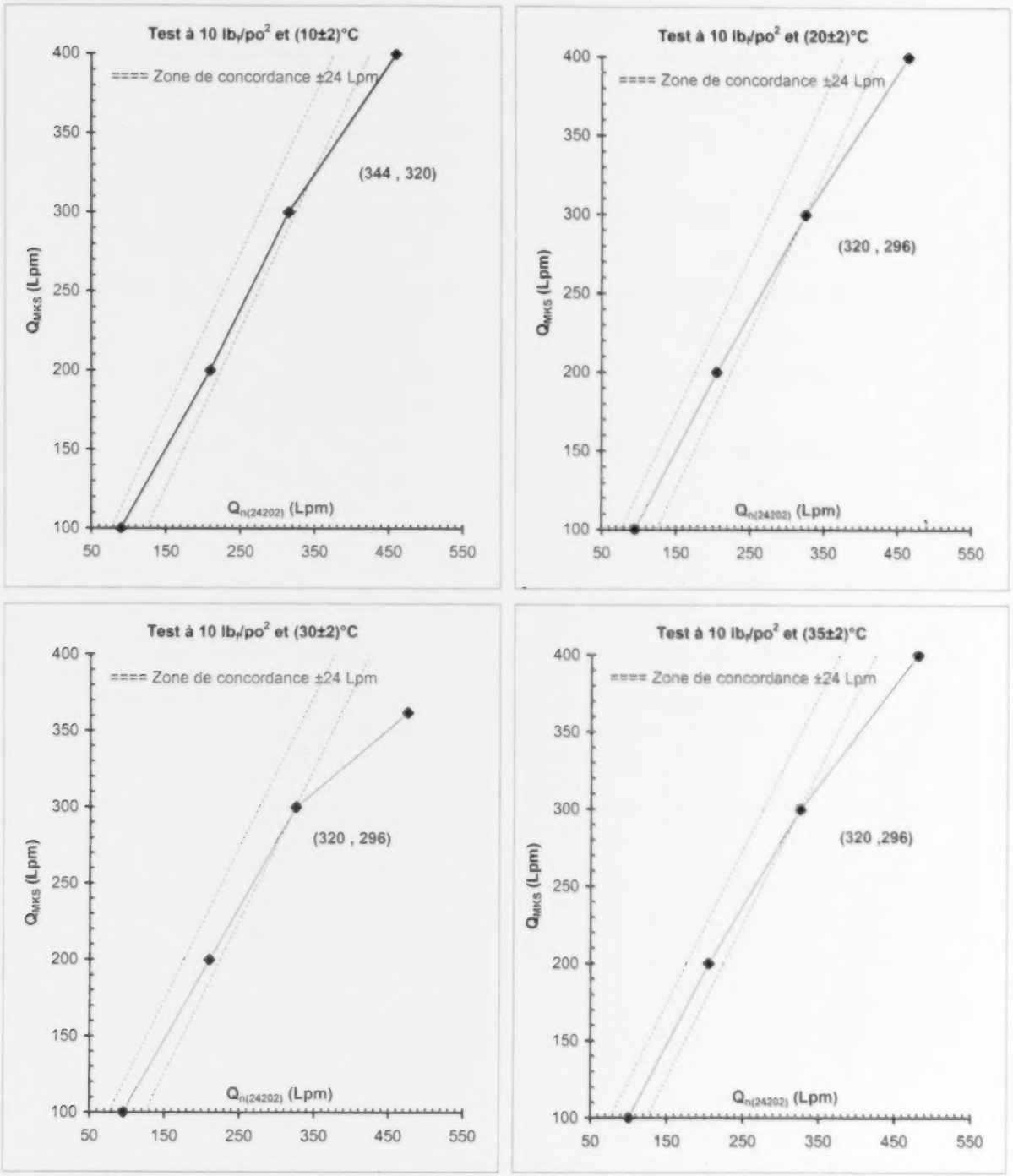


Figure 11 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 10 lb_f/po_2) – Rotamètre Gilmont

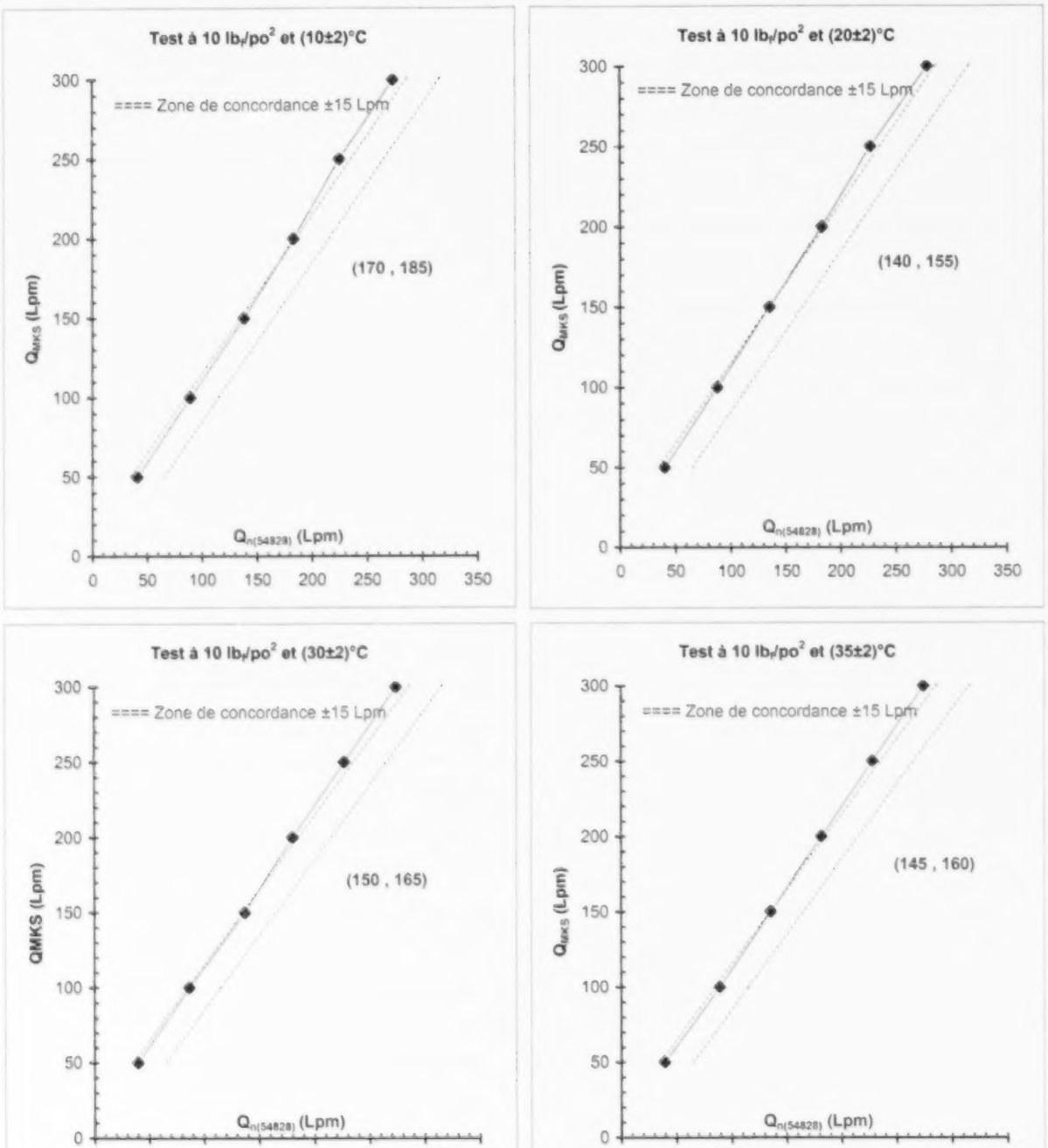


Figure 12 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 10 lb_f/po_2) – Rotamètre Allegro

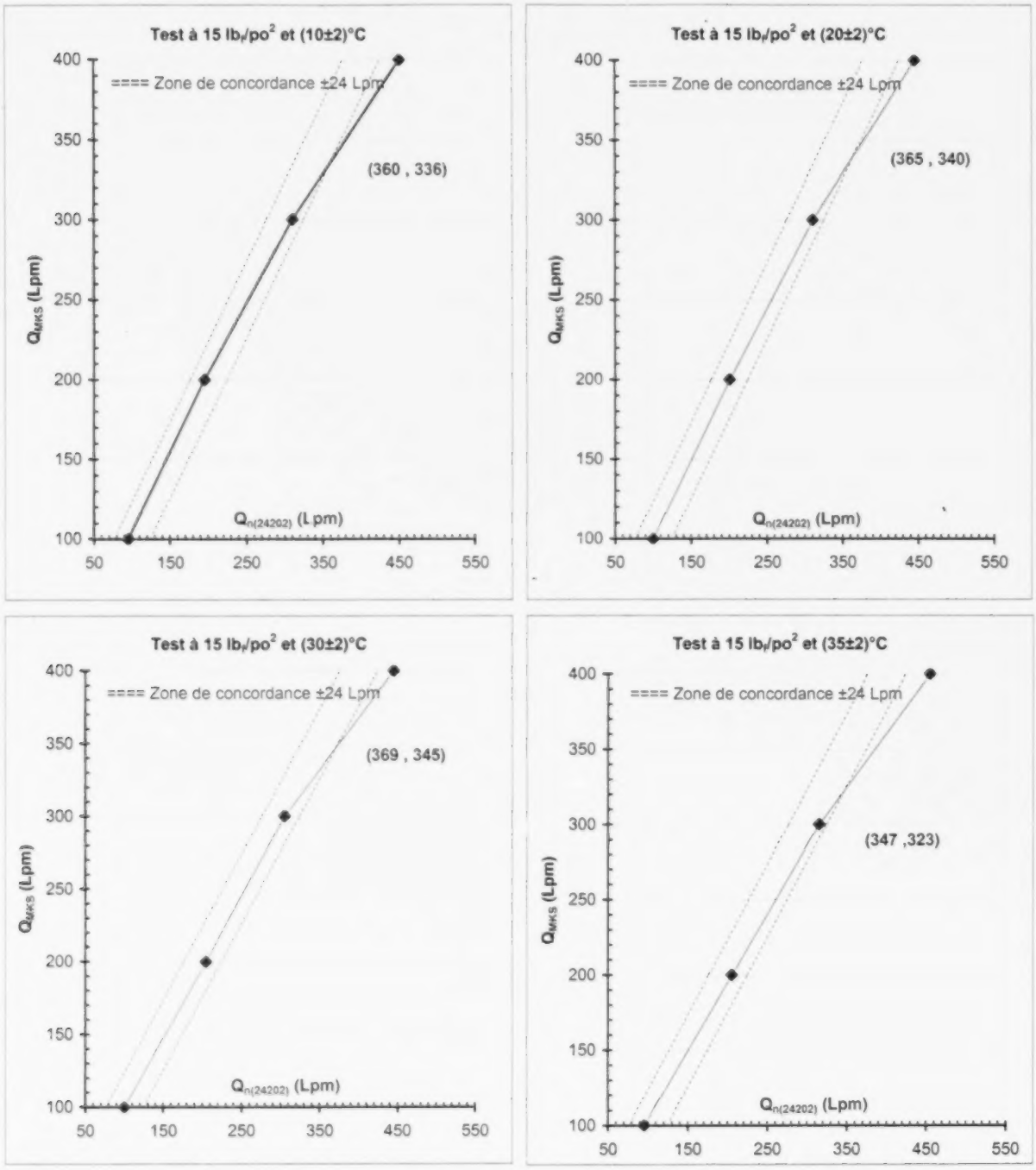


Figure 13 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 15 lb_f/po_2) – Rotamètre Gilmont

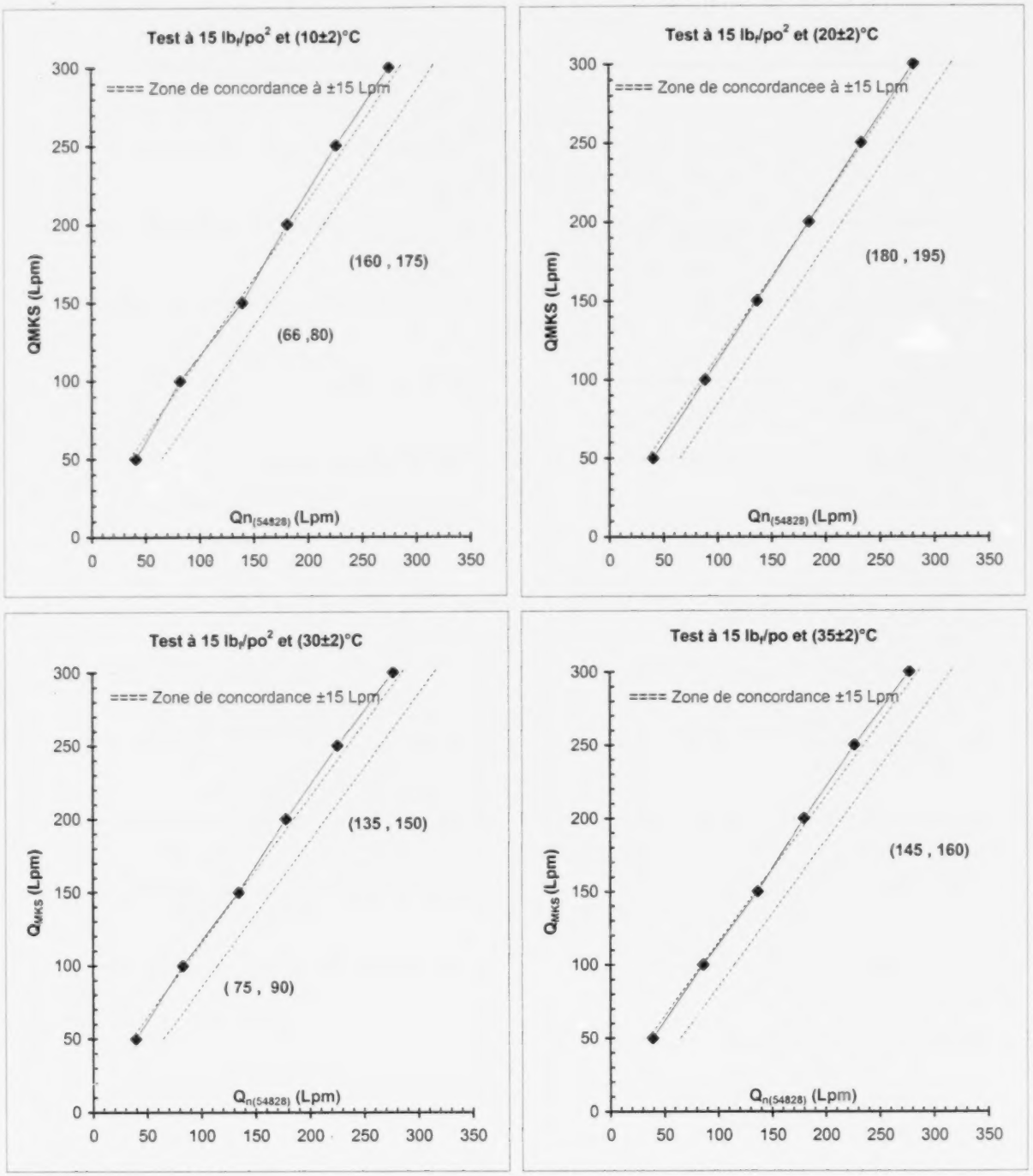


Figure 14 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 15 lb_f/po_2) – Rotamètre Allegro

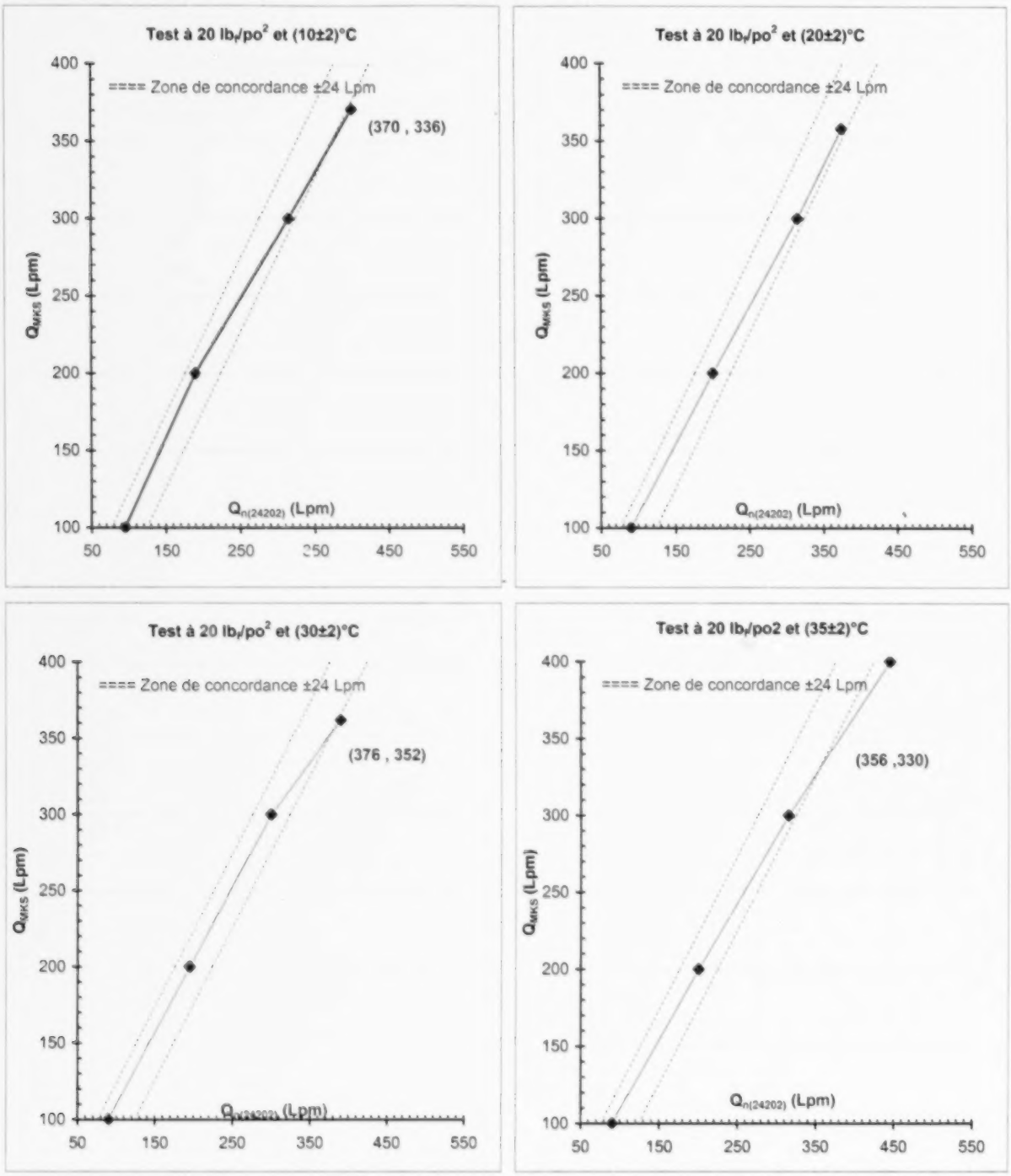


Figure 15 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 20 lb_f/po_2) – Rotamètre Gilmont

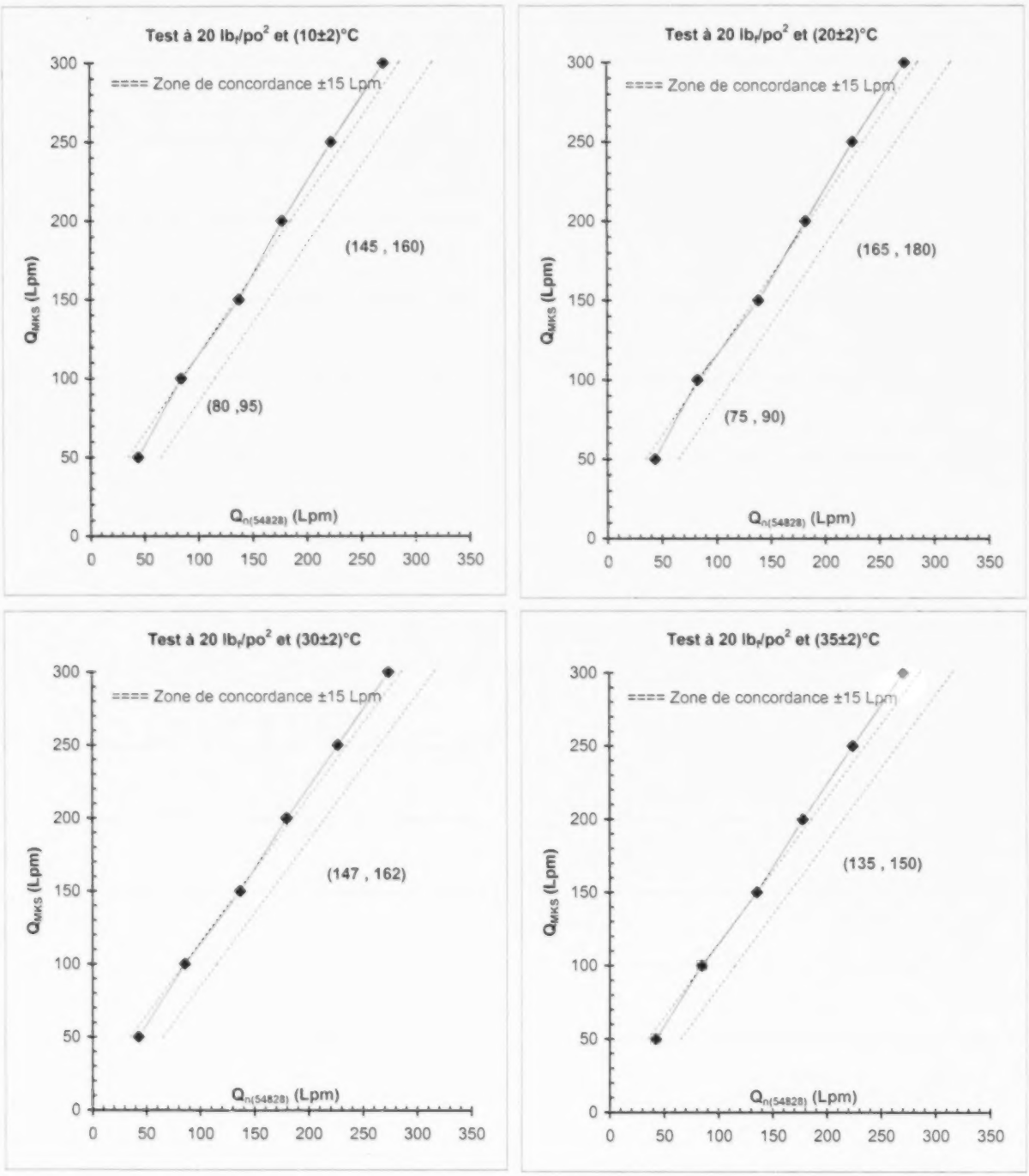


Figure 16 : Vérification des débits : écoulement à températures variables et à pression constante (P_u = 20 lb_f/po_2) – Rotamètre Allegro

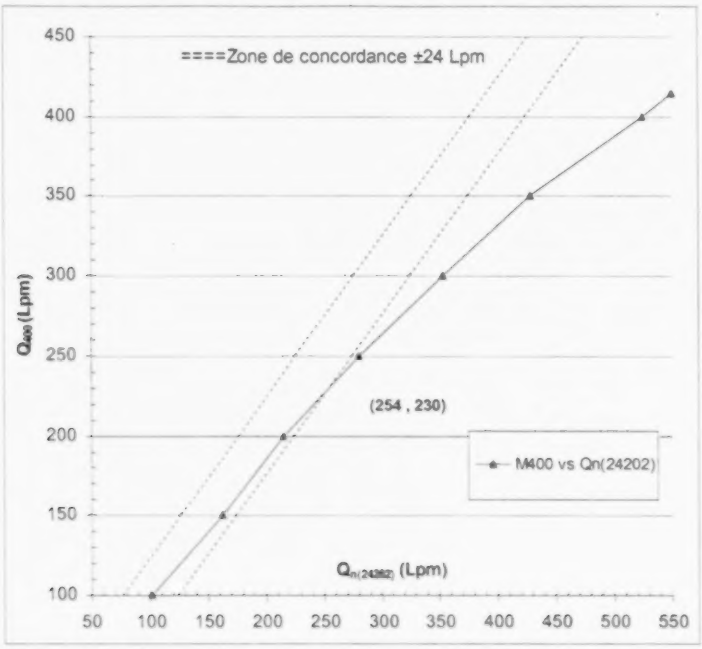


Figure 17 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie du rotamètre ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Gilmont

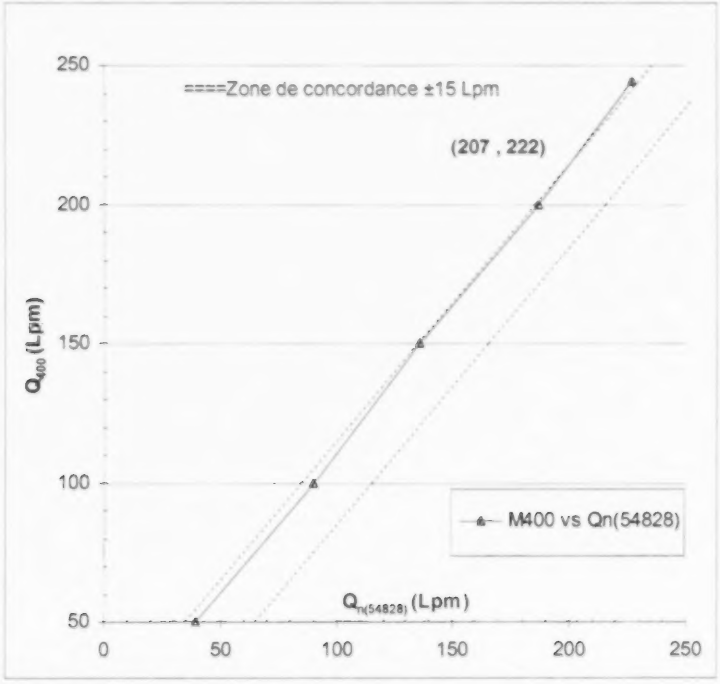


Figure 18 : Vérification des débits : écoulement à température constante avec sortie du rotamètre ouverte à l'atmosphère – Rotamètre Allegro

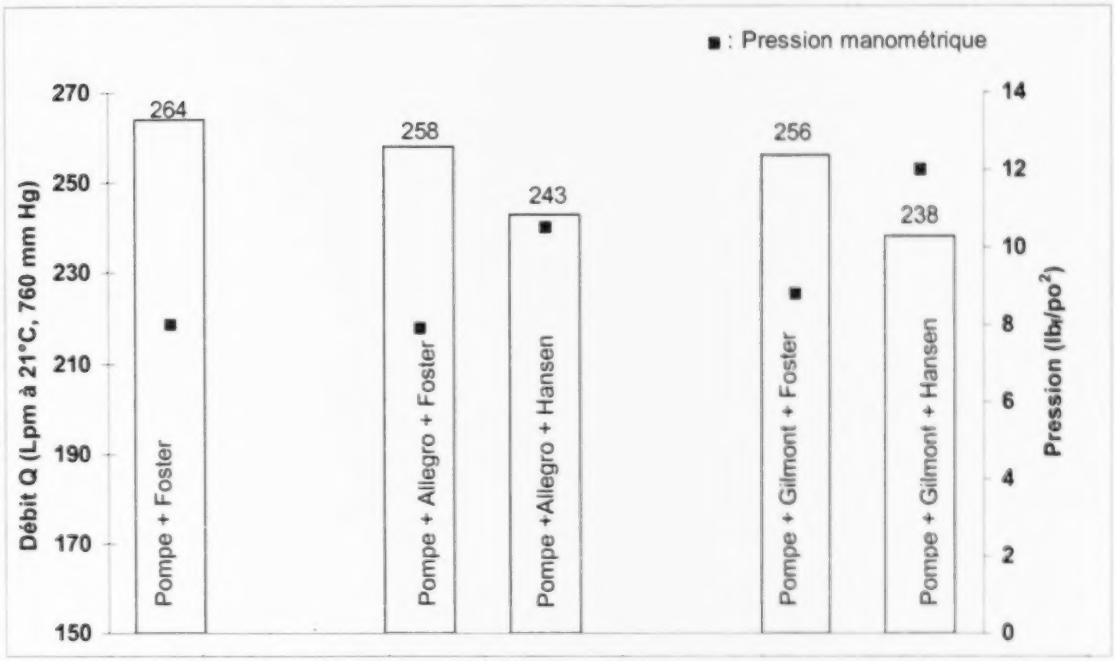


Figure 19 : Débit volumique et pression manométrique au refoulement de la pompe pour différentes combinaisons d'éléments (sans respirateur)

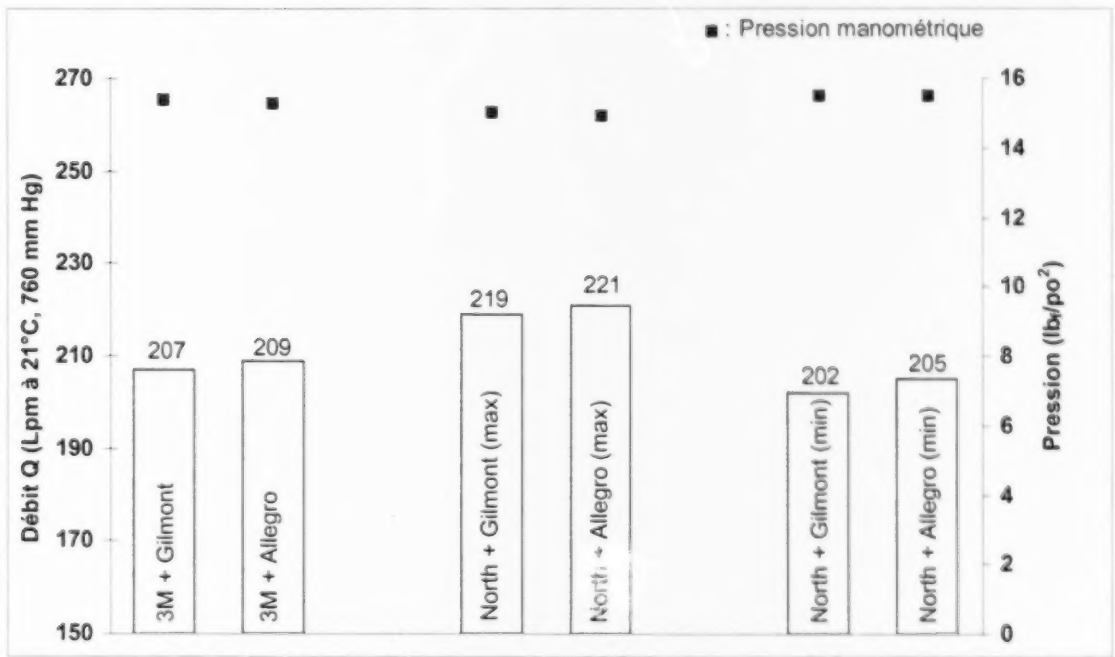


Figure 20 : Débit volumique et pression manométrique au refoulement de la pompe (avec respirateurs)

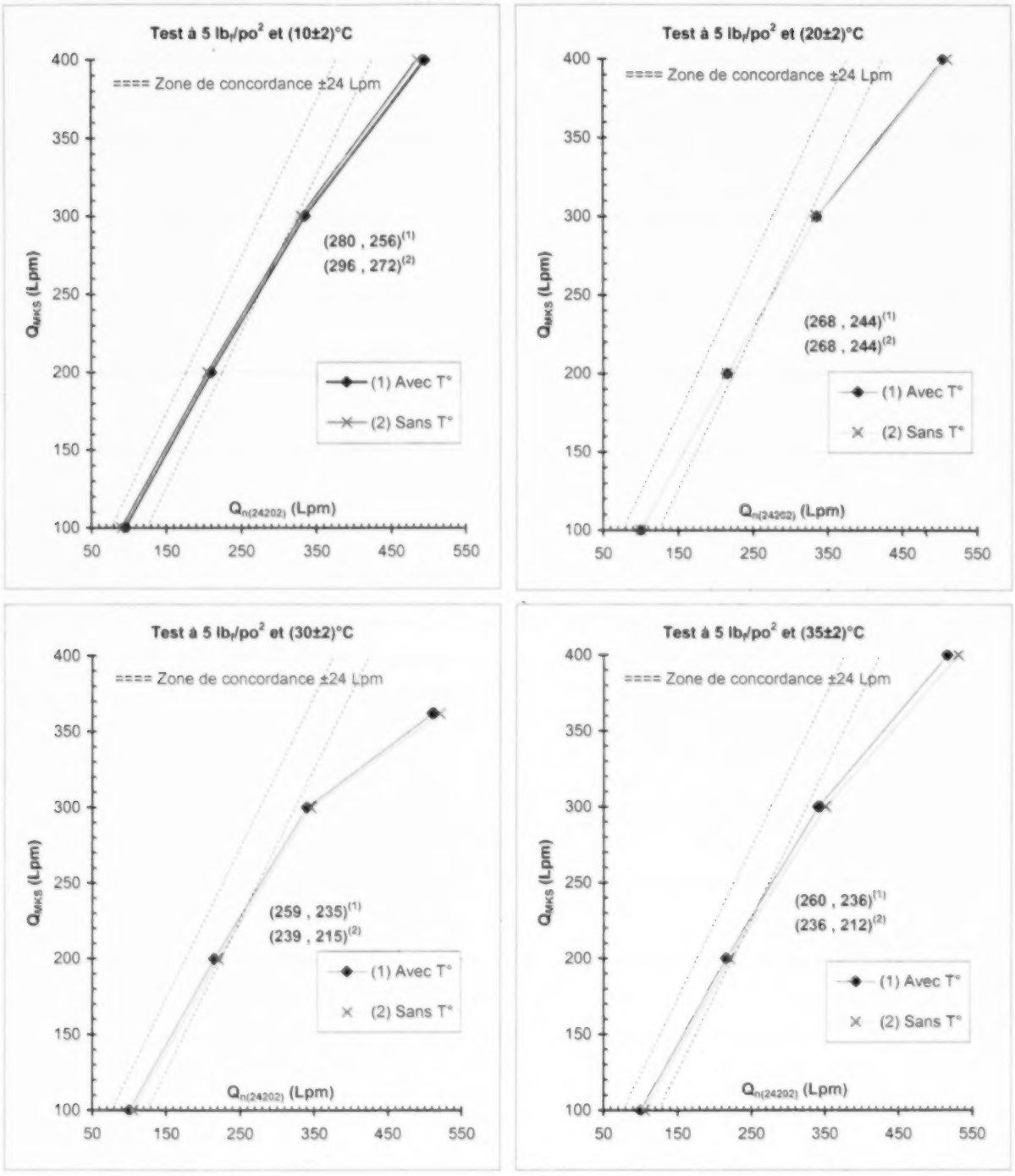


Figure 21 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 5 lb_f/po^2

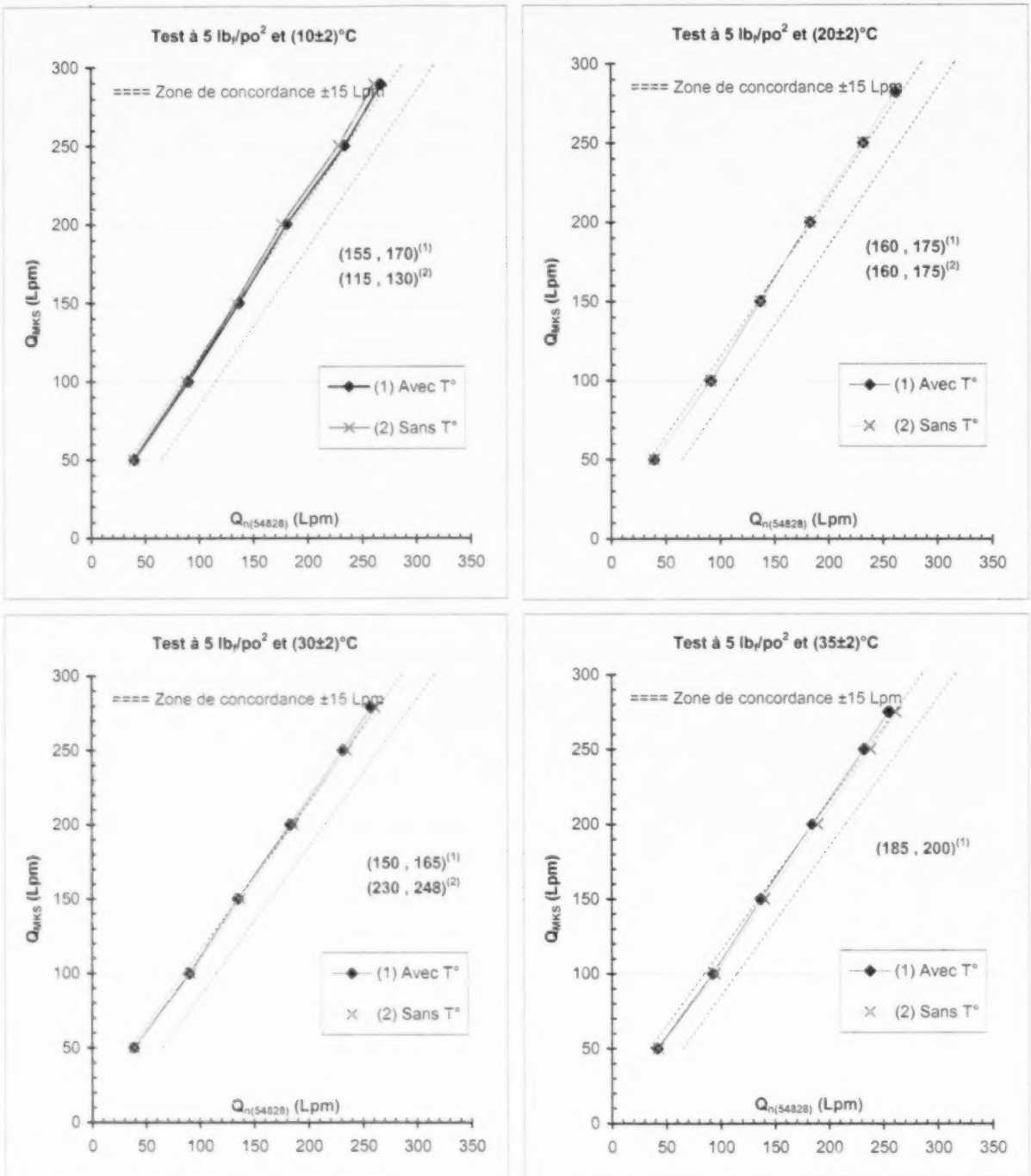


Figure 22 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 5 lb_f/po^2

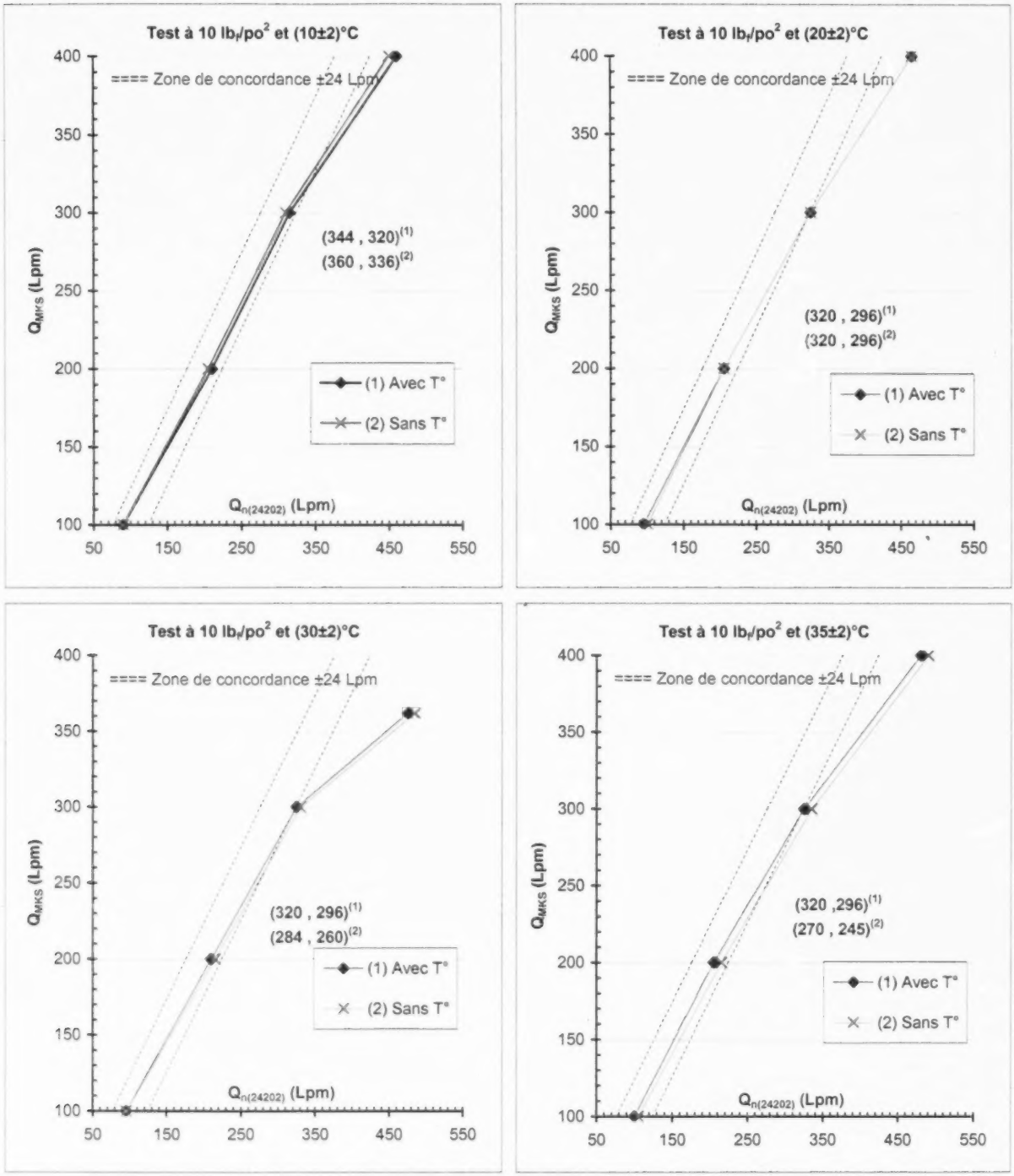


Figure 23 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 10 lb_f/po^2

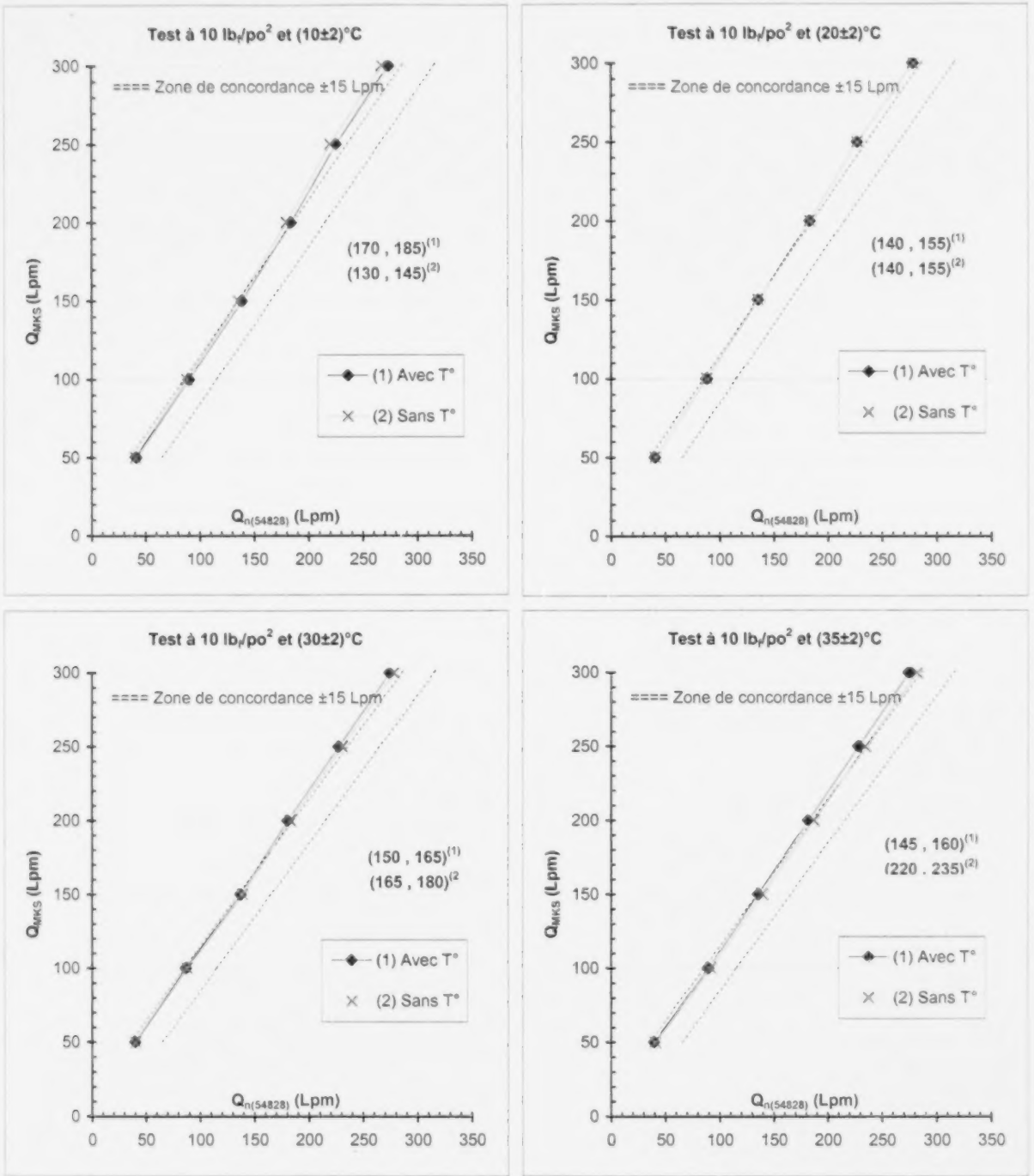


Figure 24 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 10 lb_f/po^2

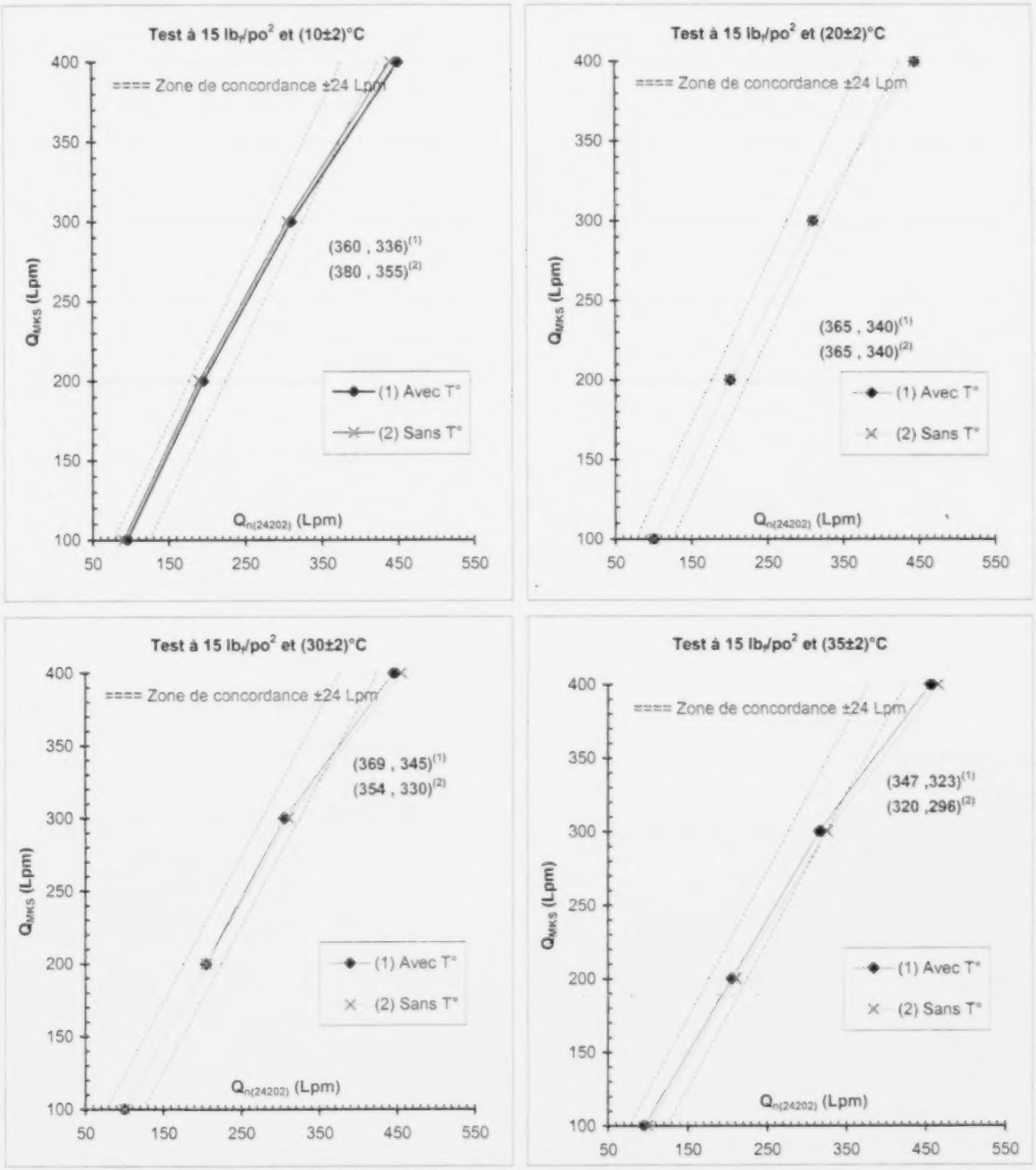


Figure 25 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 15 lb_f/po^2

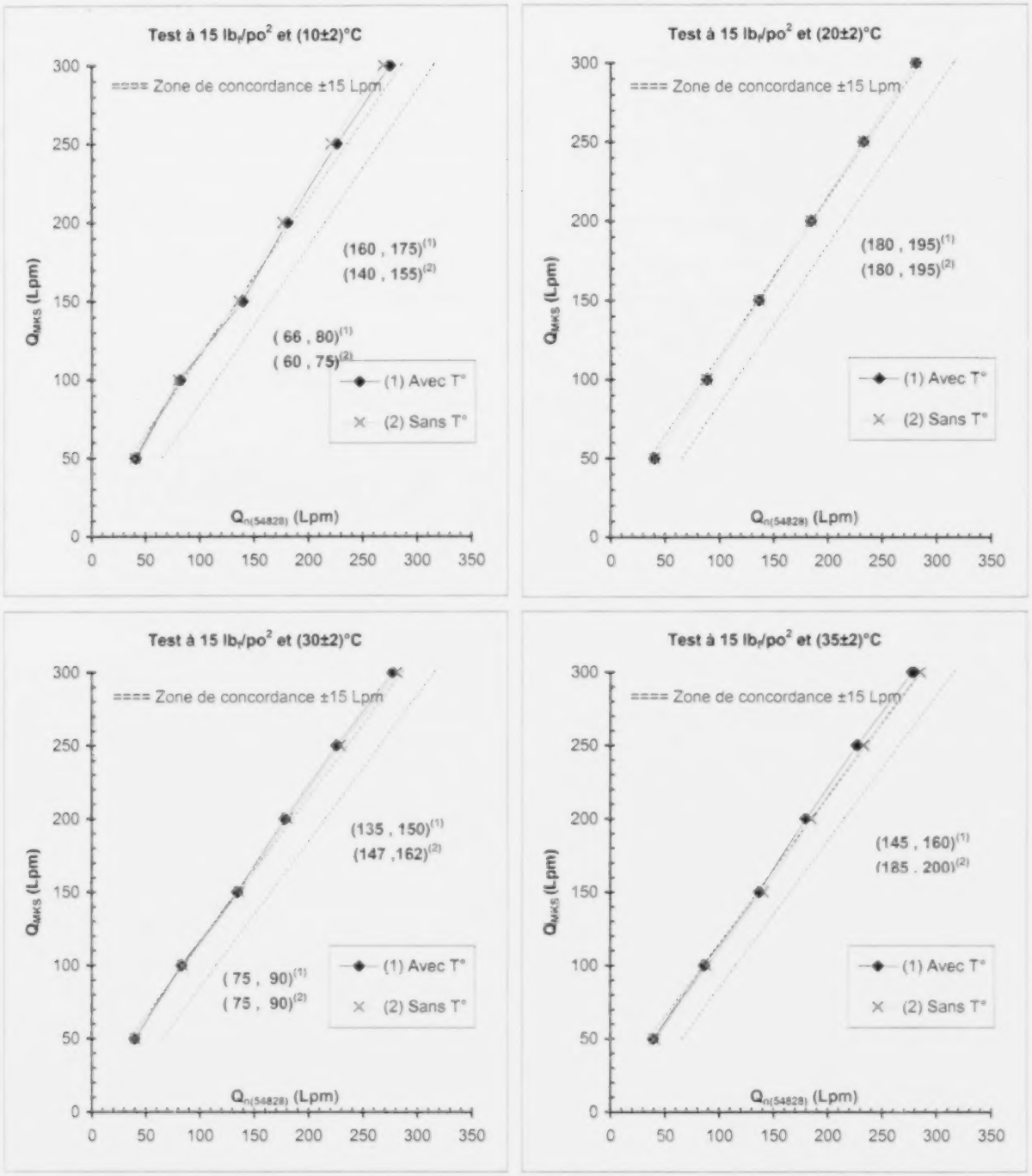


Figure 26 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 15 lb_f/po^2

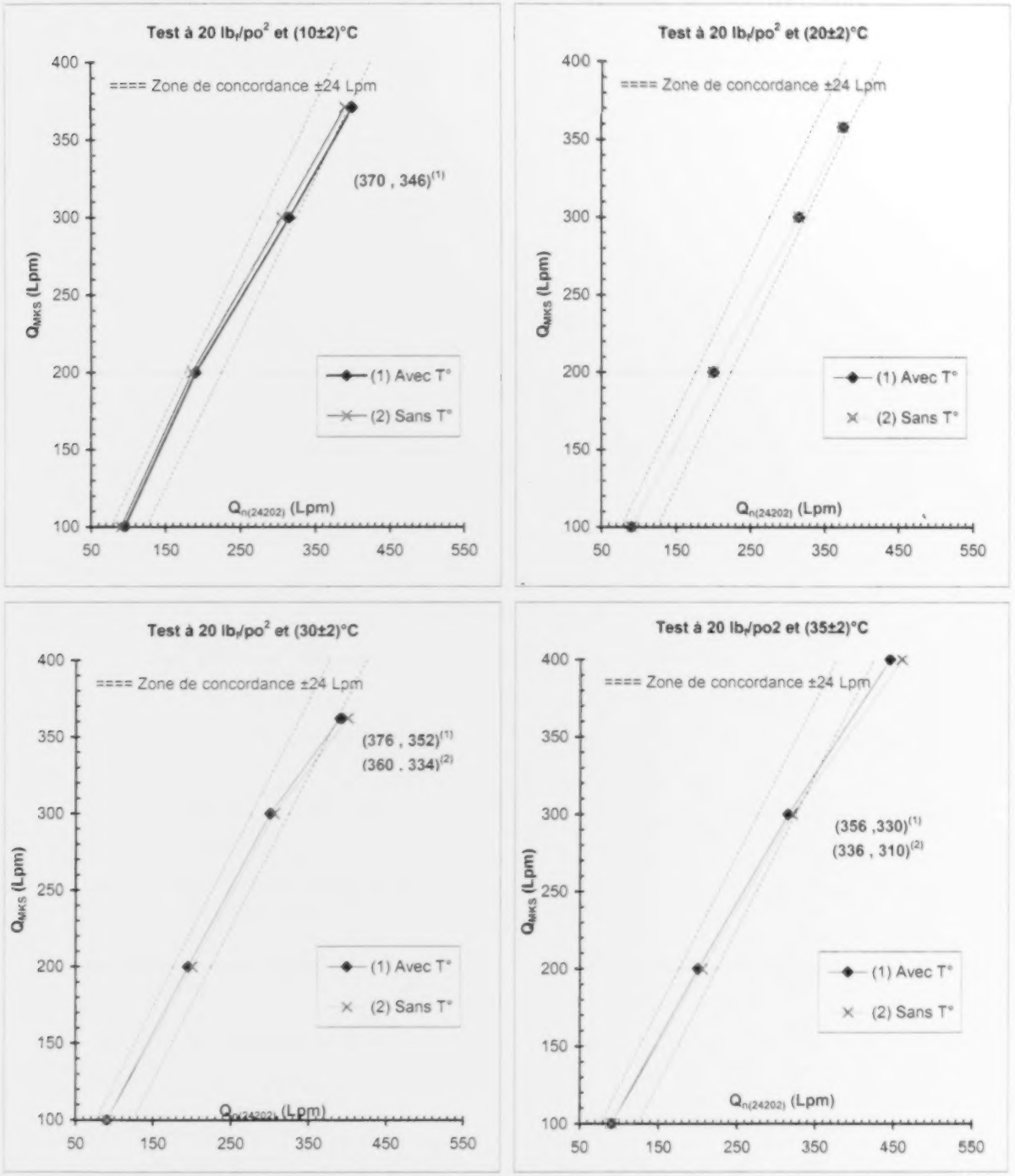


Figure 27 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Gilmont à 20 lb_f/po^2

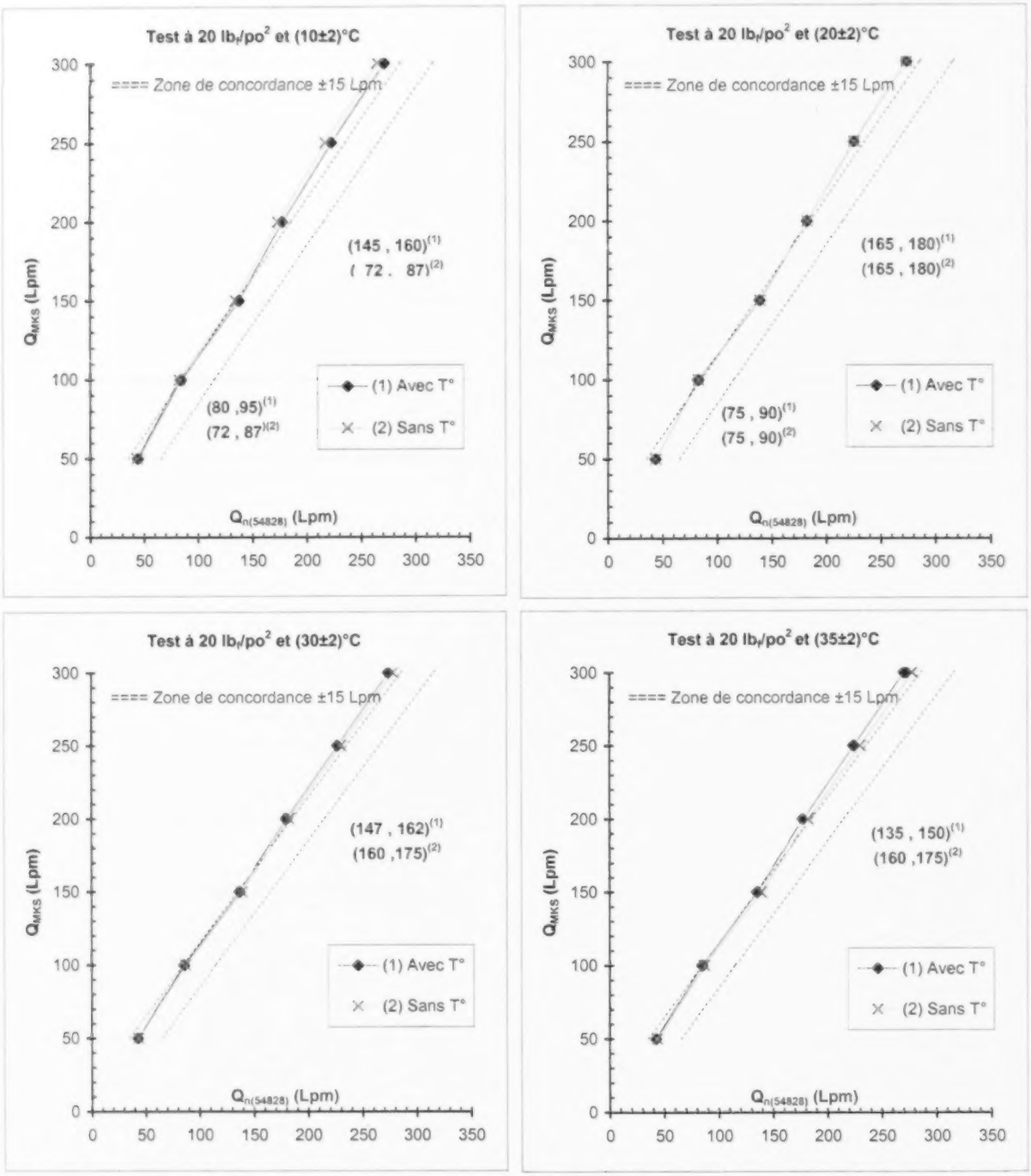


Figure 28 : Impact de la température sur le débit équivalent – Rotamètre Allegro à 20 lb_f/po^2

ANNEXE

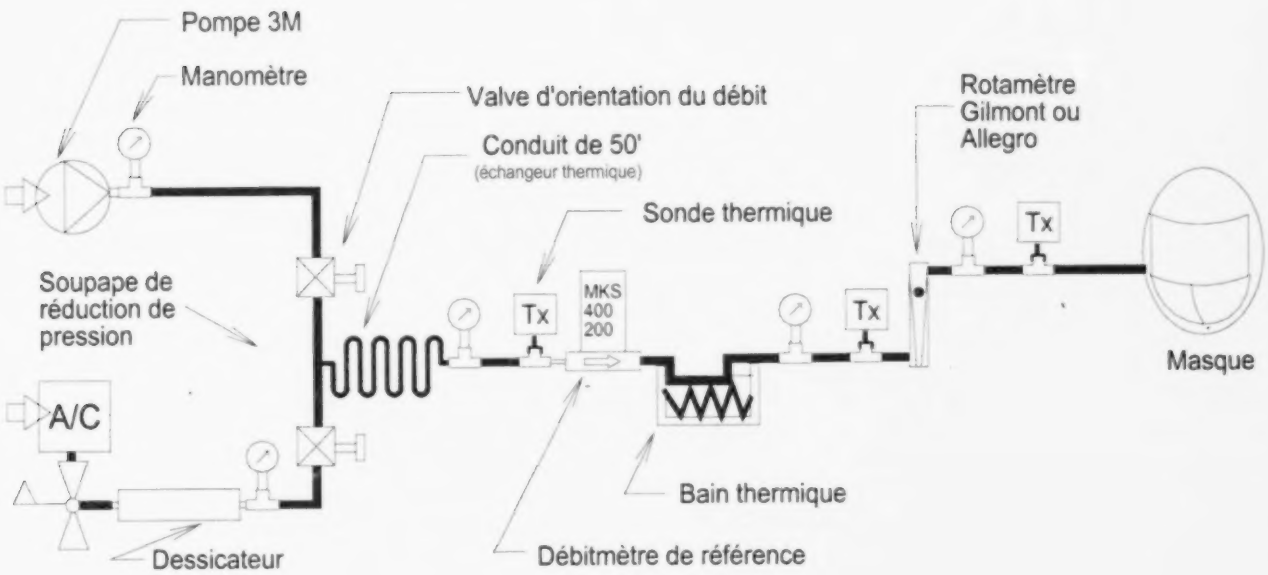


SCHÉMA DU BANC D'ESSAIS

6 champs de recherche en santé et en sécurité du travail

- Accidents
- Bruit et vibrations
- Équipements de protection
- Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels
- Substances chimiques et agents biologiques
- Troubles musculo-squelettiques

Nos recherches *travaillent* pour VOUS !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) contribue, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.

irsst

www.irsst.qc.ca